

I. UVODNA RAZMATRANJA

Elektroenergetski sistem (EES) je složeni, dinamički sistem velike dimenzionalnosti, čija je prevashodna funkcija da sigurno, pouzdano i ekonomično snadbeva potrošače sa dovoljnim količinama kvalitetne električne energije

U suštini, kvalitet električne energije definišu kontinuitet napajanja, sadržan kroz komponente sigurnog i pouzdanog napajanja, i kvalitet frekvencije (učestanosti) i napona napajanja.

Kontinuitet odnosno neprekidnost napajanja prvenstveno zavisi od principa sigurnosti po kojem se realizuje sistem, odnosno konfiguracija sistema na svim nivoima, stanja elemenata sistema i niza spoljašnjih uticajnih faktora. Kvantitativno se kontinuitet analizira preko parametara pouzdanosti: broj, odnosno učestanost prekida, trajanja prekida, neisporučene električne energije i dr.

Kvalitet frekvencije i napona procjenjuje se na osnovu njihovih vrijednosti i oblika u odnosu na dozvoljene intervale odstupanja od nazivnih vrijednosti i oblika.

Često se pod pojmom kvalitet električne energije podrazumijeva samo komponenta kvaliteta napona, koja je relevantna sa aspekta održavanja potrebnog kvaliteta električne energije na distributivnom nivou.

Sa aspekta osnovne tehnološke funkcije EES se dijeli na sljedeće podsisteme: proizvodni, prenosni, distributivni i potrošački podsistem.

U skladu sa funkcijom distribucije i strukturom sistema, elektrodistributivni sistem se može definisati na sljedeći način:

Elektrodistributivni sistem (EDS) je skup međusobno povezanih elektroenergetskih mreža čija je funkcija da unutar pripadne teritorije omoguće raspodjelu i distribuciju električne energije od napojnih tačaka sistema (transformatorske stanice na granici prenos/distribucija) do praga pojedinačnih ili grupnih potrošača.

EDS najčešće sadrže i elektrane, locirane u blizini potrošačkog područja (konzuma) i priključene na neku od mreža EDS-a. To su tzv. distribuirani izvori električne energije, koji dominantno pripadaju grupi obnovljivih izvora i kategoriji malih elektrana (mE - snage ispod 10 MW). Osnovna karakteristika savremenih EDS je prisustvo distribuiranih izvora električne energije.

Ukoliko EDS ne sadrži elektrane, odnosno distribuirane izvore električne energije onda je to pasivna mreža, u okviru koje figurišu mreže različitih naponskih nivoa iz skale distributivnih napona (0.4, 10, 20, 35 i 110 kV - po našim Standardima)

Zadatak EDS je raspodjela i distribucija električne energije od prenosnih transformatorskih stanica (najčešće 400/110 kV) i manjih elektrana do svakog potrošača.

U samoj realizaciji strukture i funkcionisanju EDS, osnovni značaj imaju potrošači električne energije. Skup potrošača sa određene teritorije koje snabdijeva razmatrani

EDS, čini konzum tog sistema. Poznavanje karakteristika konzuma i svih njegovih potrošača, u prošlosti, sadašnjosti i budućem razvoju, osnova su za sve aspekte izučavanja i realizacije EDS.

EDS se može definisati i na sljedeći način:

Elektrodistributivni sistem je skup međusobno povezanih elektroenergetskih objekata: malih elektrana, razvodnih postrojenja, transformatorskih stanica i elektroenergetskih vodova, izgrađenih na teritoriji na kojoj su locirani potrošači i u njenoj bližoj okolini sa ciljem obezbjeđenja potrebne količine kvalitetne električne energije za svakog potrošača konzuma.

Prema istraživanjima u svijetu udio EDS u ukupnim investicijama u EES su od 30% pa i do 50%. Najčešće, oko trećine investicija odlazi na elektrane, trećina na prenosnu mrežu i trećina na distribuciju.

S druge strane, EDS dominantno utiču na pouzdanost napajanja krajnjih potrošača. Ovaj uticaj se ocjenjuje do 80%, dok elektrane i prenosna mreža utiču sa svega oko 20%. Pogotovo je značajan uticaj vodova srednjeg napona.

Ove i niz drugih karakteristika EDS-a, ukazuju na veliki značaj i neophdnost njihovog izučavanja.

I.1 DEFINICIJA I PODJELA ELEKTRIČNIH MREŽA

Elektroenergetske mreže, kraće **električne mreže** čine elektroenergetski vodovi (nadzemni i kablovski) i pripadna elektroenergetska postrojenja (transformatorska razvodna postrojenja i rasklopna postrojenja - rasklopišta) povezane u okviru određenog naponskog nivoa ili pripadne funkcije unutar EES.

Električne mreže služe za prenos električne energije od elektrana do konzumnih područja i distribuciju do krajnjih potrošača.

U okviru EES-a, a takođe i u okviru EDS figurišu mreže različitih karakteristika.

Podjela mreža se može izvršiti prema različitim kriterijumima, odnosno karakteristikama:

1. po naponskom nivou kome pripadaju,
2. prema funkciji u jedinstvenom procesu proizvodnje, prenosa, distribucije i potrošnje električne energije,
3. prema topološkoj izvedbi, odnosno konfiguraciji,
4. prema konstruktivnoj izvedbi osnovnih elemenata i dr.

1. Po naponu, razlikujemo:

- mreže veoma visokog napona (mreže VVN: 400, 750, 1150 kV,...),
- mreže visokog napona (mreže VN: 110, 220 kV,...),
- mreže srednjeg napona (mreže SN: 10, 20 kV,...) i
- mreže niskog napona (mreže NN: 0.4 kV).

Izdvojenim naponskim nivoima mogu pripadati mreže iz šireg naponskog dijapazona. Tako, u naponski nivo srednjeg napona možemo svrstati i mreže 35 kV napona. Tada je to tzv. viši srednji napon (V SN).

Napomena:

Navedene vrijednosti napona su uglavnom iz naših Standarda i prakse. U svim daljim prikazima i analizama koristićemo prvenstveno elektroenergetske parametre iz našim Standarda i naše prakse izvedbe EES.

2. Prema funkciji, razlikujemo:

- prenosne mreže,
- napojne mreže,
- distributivne mreže i
- potrošačke mreže.

Prenosne mreže imaju funkciju prenosa električne energije velikih snaga na velike udaljenosti. One unutar pripadnih EES povezuju elektrane sa udaljenim potrošačkim područjima, međusobno povezuju elektrane, kao i potrošačka područja, a takođe ostvaruju i vezu sa susjednim EES.

Prenosne mreže se realizuju u klasi **visokih i veoma visokih napona**, naponi: 110, 220 i 400 kV kod nas, a u velikim EES još viši naponi, 750 i 1150 kV... .

Prenosne snage ovih mreže su reda snaga moćnih generatorskih grupa i vršnih snaga velikih konzuma, reda: sto MW, **više stotina MW**, hiljade MW pa i više hiljada MW.

Prenosne mreže prenose električnu energiju na **velike udaljenosti**, reda udaljenosti izvora od potrošačkih područja - gradova, međusobne udaljenosti izvora i međusobne udaljenosti gradova, i to ne samo unutar pripadnog EES, odnosno države, već i u okviru susjednih EES, odnosno država. **To su rastojanja reda više stotina km i više hiljada km.**

Prenosne mreže se “završavaju” elektroenergetskim postrojenjima lociranim blizu potrošačkih područja. To su tzv. glavne TS (G TS, npr. G TS 400/110 kV), koje predstavljaju napojne tačke EDS, odnosno “izvore napajanja” EDS (IN EDS).

Napojne mreže su mreže najviših naponskih nivoa u okviru EDS. Njihova funkcija je prenos, odnosno raspodjela električne energije od krajnjih tačaka prenosa (npr. G TS 400/110 kV) do pojedinih djelova konzuma odnosno jezgara potrošnje unutar konzuma, gdje se lociraju tzv. napojne TS (N TS, npr. N TS 110/10 kV) kao krajnje tačke napojnih mreža.

Napojne mreže se realizuju u klasi visokih napona. Karakteristični naponski nivo ovih mreža u našim uslovima je 110 kV, a u EDS velikih gradova (metropola) napojne mreže se realizuju i u klasi veoma visokih napona (npr.: 400 kV – EDS Berlina, 750 kV – EDS Pariza)

Karakteristične snage prenosa napojnih mreža su: **više desetina MW** i do **više stotina MW**.

Karakteristične dužine vodova su reda **više km i više desetina km**, u skladu sa karakteristikama i veličinom konzuma i njegove okoline.

Distributivne mreže su mreže EDS čija je funkcija da unutar potrošačkih područja razvode i distribuiraju električne energije do samih potrošača, odnosno njihovih uređaja za registrovanje potrošnje.

To su mreže srednjeg napona (SN mreže, npr. mreže 10 i 20 kV) i mreže niskog napona (NN mreže, odnosno mreže 0.4 kV).

U EDS na nivou srednjeg napona mogu postojati mreže jednog srednjeg napona, npr. 20 kV ili 10 kV. To su **EDS direktne transformacije**.

Ukoliko u okviru EDS na nivou srednjeg napona postoje mreže dva srednja napona, npr. mreže napona 10 kV i mreže napona 35 kV sa međutransformacijom 35/10 kV, to su **EDS sa međutransformacijom**.

Napojne tačke distributivnih SN mreža su N TS (npr. N TS 100/10 kV) sa TR naznačenih snaga reda više desetina MVA.

U našoj praksi, **TR 110/10 kV: 20, 40, 63 MVA**.

Krajnje tačke distributivnih mreža SN su distributivne TS (npr. D TS 10/0.4 kV) sa TR naznačenih snaga više stotina kVA.

U našoj praksi, **TR 10/0.4 kV: 160, 250, 400, 630, 1000, 1600 kVA**.

Snage TR u međutransformaciji 35/10 kV su reda više MVA.

U našoj praksi, **TR 35/10 kV: 4, 8, 12.5, 16 MVA**.

Distributivne mreže srednjeg napona **prenose snagu reda više MW i više desetina MW**. Veće vrijednosti su karakteristične za mreže višeg srednjeg napona.

Udaljenosti prenosa električne energije SN distributivnim mrežama su reda **više stotina m, više km, pa i više desetina km**. Veće dužine (i iznad 100 km) imamo kod mreža VSN, konkretno 35 kV mreža, pri čemu u takvim uslovima one najčešće pripadaju podsistemu prenosa.

Distributivne mreže NN su mreže napona 0.4 kV, koje polaze od distributivnih TS, npr. D TS 10/0.4 kV i preko NN vodova distribuiraju električnu energiju do samih potrošača, odnosno do razvodnih ormara (RO) sa uređajima za registrovanje potrošnje električne energije. Odatle dalje idu potrošačke mreže (instalacije) do pojedinačnih potrošača električne energije.

Distributivne mreže niskog napona **prenose snagu od više desetina do više stotina kW**.

Potrošačke mreže

Podsistem potrošnje obuhvata potrošačke mreže sa potrošačima električne energije.

Potrošačke mreže napajaju neposredno električne aparate malih snaga (od dijela kW do više kW), npr. električne aparate u domaćinstvima, ili nešto većih snaga (reda desetina i stotina kW), kakav je slučaj sa potrošačkim mrežama u okviru industrijskih preduzeća.

Potrošačke mreže treba da osiguraju visok stepen zaštite, jer su u direktnom "kontaktu" sa korisnicima. Primjenom niskog napona mogu se uskladiti kako ovi tako i ostali zahtjevi u pogledu izolacije, pouzdanosti napajanja i dr.

U okviru potrošačkih mreža su karakteristična tri dijapazona napona: 20 do 50 V za tzv. bezopasne instalacije (igračke, instalacije u vlažnim prostorijama); napon 230/400 V (prema staroj standardizaciji 220/380 V), za instalacije u domaćinstvima i tzv. ostaloj potrošnji i dijapazon 500 do 1000 V za industrijske mreže. Potrošačke mreže se mogu realizovati i u klasi srednjeg napona (3, 6, 10 kV), zavisno od vrste i snage uređaja koje napajaju. To su potrošačke mreže tzv. direktnih potrošača, kao što su npr. industrijski pogoni, vodovod i sl.

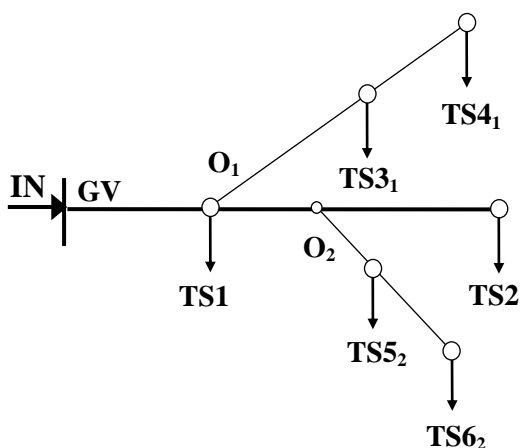
3. Prema topologiji mreže se mogu svrstati u dvije osnovne grupe:

- radijalne mreže i
- petljaste mreže.

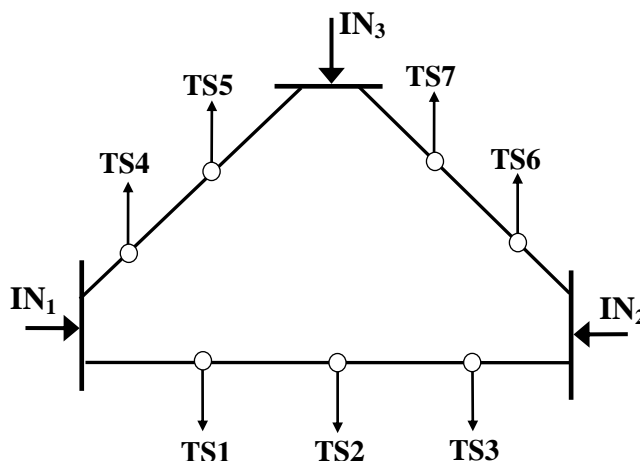
Osnovni kriterijum podjele mreža na ove dvije grupe su mogući smjerovi protoka električne energije po dionicama vodova, odnosno putevi napajanja potrošačkih čvorova posmatrane mreže.

Radijalne mreže karakteriše samo jedan smjer protoka električne energije po dionicama vodova mreže i jednostrano napajanje potrošačkih čvorova. Realizuju se u različitim varijantama: radijalno napajanje u tački, čisto radijalno napajanje, radijalno napajanje sa ograncima (*slika 1*) i dr.

Petljaste konfiguracije karakteriše mogućnost protoka električne energije po dionicama vodova u oba smjera, a što se obezbijeduje međusobnim povezivanjem dionica vodova i vezivanjem napojnih dionica na jedan ili više izvora napajanja (*slika 2*).



Slika 1. Radijalno napajanje



Slika 2. Petljasta konfiguracija

Napomena:

Za meže, “**izvori napajanja**” (**IN**) su elektroenergetska postrojenja kao napojne čvorne tačke. Na primjer, za SN distributivne mreže izvori napajanja su napojne TS VN/SN, a za NN mreže izvori napajanja su distributivne TS SN/NN.

Dionica voda (D) je dio voda između dvije čvorne tačke.

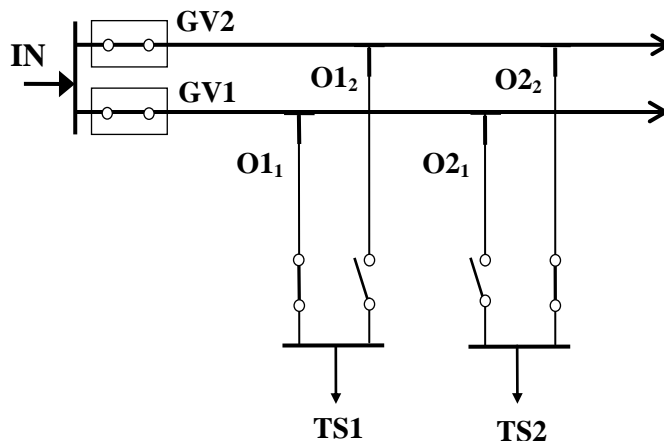
Dionice vodova koje su povezan na izvori napajanja nazivaju se **napojne dionice (ND)**.

Glavn vodov (GV) je vod vezan na izvor napajanja i od kojeg polaze drugi vodovi - **ogranci (O)**.

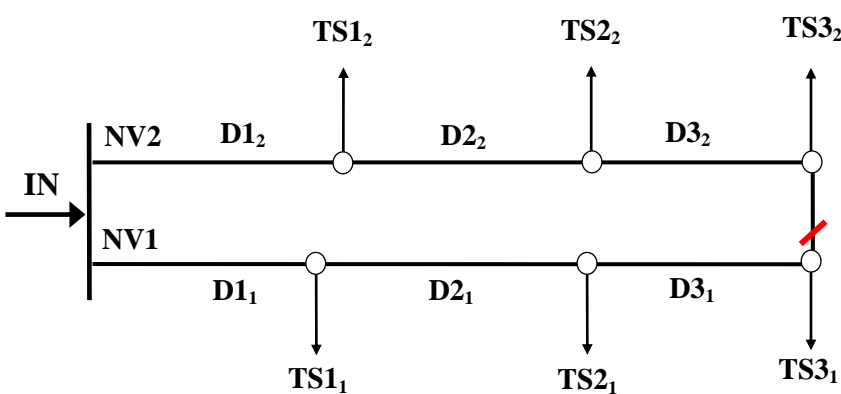
Napojni vodovi (NV) je vod vezan na izvor napajanja, na koji se vezuje potrošnja, odnosno potrošački čvorovi.

Potrošački čvorovi u napojnim mrežama su napojne TS VN/SN, u SN distributivnim mrežama potrošački čvorovi su distributivne TS SN/NN, a u NN distributivnim mrežama to su razvodni ormari (RO) potrošača.

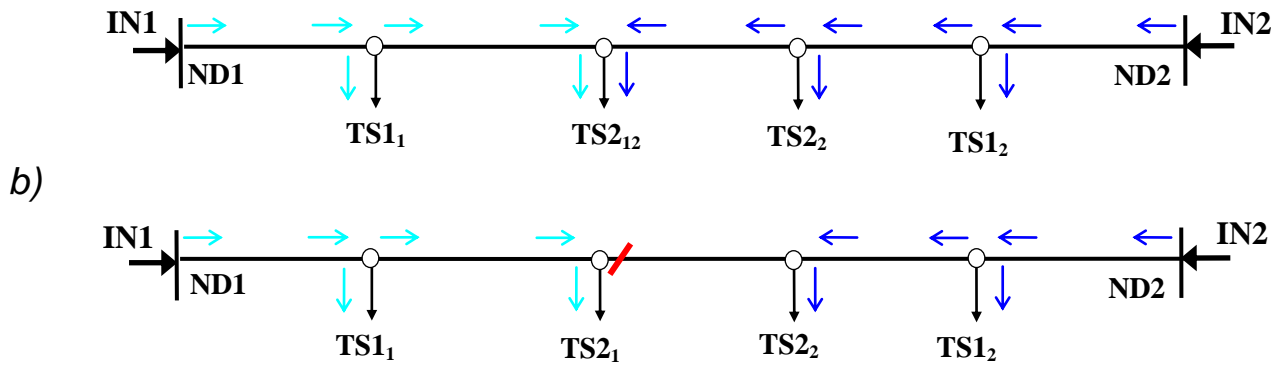
Konfiguracije se prema načinu napajanja odnosno vezivanja napojnih dionica na IN mogu svrstati u tri osnovne grupe: mreže kod kojih se sve napojne dionice vodova napajaju iz istog IN (**dvostruko napajanje** – slika 3, **prstenasta konfiguracija** – slika 4), mreže kod kojih se povezuju vodovi čije se napojne dionice oslanjaju na dva IN (**dvostrano napajanje** - slika 5) i mreže napajane iz više IN (**petljasta konfiguracija** – slika 2 i slika 6).



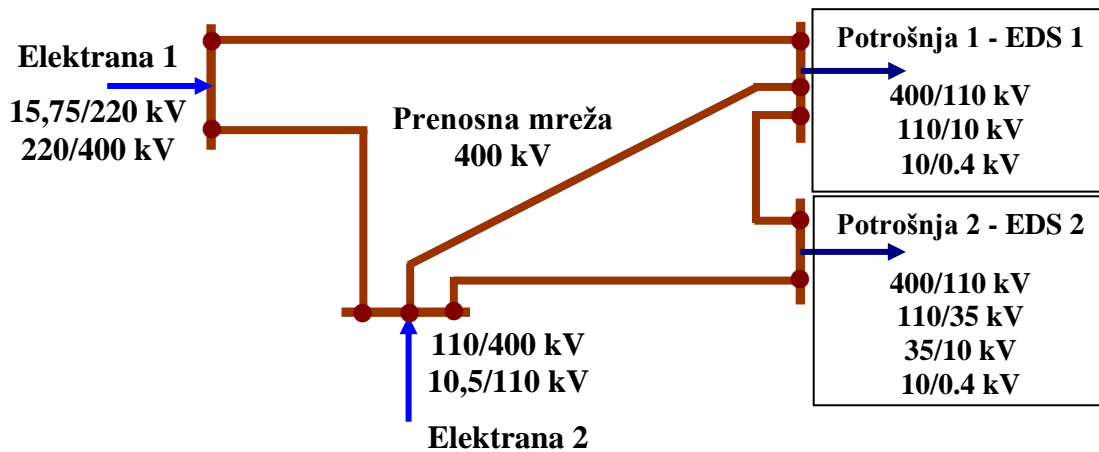
Slika 3. Dvostruko napajanje



Slika 4. Prstenasta konfiguracija



Slika 5. Dvostrano napajanje: a) zatvoreni pogon, b) otvoreni pogon



Slika 6. Prenosna mreža - petljasta konfiguracija

4. Prema konstruktivnoj izvedbi osnovnih elemenata, a to su elektroenergetski vodovi, mreže se dijele na:

- nadzemne ili vazdušne mreže i
- kablovske ili podzemne mreže.

Nadzemne mreže se realizuju sa nadzemnimelektroenergetskimvodovima. Primjenjuju u prenosu, u okviru napojnih mreža EDS, kao i na distributivnom nivou na seoskim i prigredskim područjima. **Nadzemni elektroenergetski vodovi se realizuju do naponskog od 1500 kV.**

Cijene kablovskog prenosa na najvišim naponima znatno su više (reda deset puta) od onih nadzemnim putem.

Zato se i napojne mreže EDS najčešće realizuju kao vazdušne. Radi boljeg korišćenja koridora u urbanim sredinama, u svijetu se prvenstveno grade višesistemski vodovi sa većim brojem provodnika u snopu i različitim naponskih nivoa. Tako su npr. u Njemačkoj su već odavno u eksploataciji višesistemski vodovi napona 2x400 kV i 4x110 kV. Sa porastom opterećenja konzuma treba ići na povećanje, odnosno primjenu većih presjeka faznih provodnika. Tako je kod vodova 110 kV,

prelaskom sa presjeka $240/40 \text{ mm}^2$ na presjek $490/65 \text{ mm}^2$, za istu širinu koridora, moguće povećati specifično opterećenje (opterećenje po dužnom metru voda [MW/m]) za oko 47%. Istovremeno, ako se koriste dva provodnika u snopu, moguće je povećati specifično opterećenje za oko 30%.

Kablove mreže se realizuju sa kablovskim vodovima koji se postavljaju ispod zemlje. **Kablovi se realizuju do naponskog nivoa do 500 kV.**

Napojne mreže se izvode kao kablovske u slučaju prostornih ograničenja, urbanističkih zahtjeva, negativnog uticaja nadzemnih vodova na okolinu, povećanih zahtjeva za pouzdanošću napajanja. Najčešće se realizuju u obliku tzv. "dubokog uvoda", gdje se snažnim dvostrukim kablovskim vodovima visokog napona ide do samih gradskih centara, odnosno centara potrošnje.

Distributivne mreže gradskih EDS su u osnovi kablovske, kao i industrijske distributivne mreže. Kao vazdušne realizuju se distributivne mreže koje napajaju udaljenija prigradska i seoska područja.

I.2 PODJELA ELEKTRODISTRIBUTIVNIH SISTEMA

EDS-i se prema teritoriji i vrsti konzuma koji napajaju dijele na:

- gradske EDS,
- industrijske EDS i
- seoske EDS.

Gradski EDS

Snabdijevanje gradova električnom energijom vrši se preko gradskih EDS, koji se mogu definisati na sljedeći način:

Gradski EDS je skup međusobno povezanih elektroenergetskih objekata i uređaja: sopstvenih elektrana, napojnih i distributivnih vodova, transformatorskih stanica i potrošača, **izgrađenih i lociranih na teritoriji grada i bliže okolini** sa ciljem obezbjeđenja potrebne električne energije za sve potrošače gradskog konzuma (domaćinstvima, prateći objekti trgovine, zanatstva, kulture, zdravstva, obrazovanja, društveno-političkih i drugih djelatnosti, komunalni objekti, saobraćaj, javna rasvjeta, malim industrijski pogoni smještenim gradskoj teritoriji i dr.)

Svi potrošači na teritoriji grada čine **konzum** gradskog EDS.

Osnovni potrošači električne energije gradskih EDS su:

domaćinstva i tzv.

prateća potrošnja (objekti trgovine, sitne industrije i zanatskih djelatnosti, administracije i društvenih djelatnosti, komunalne infrastrukture, rasvjeta, dječiji vrtići, škole, fakulteti, objekti kulturne djelatnosti, zdravstveni objekti i dr.).

Preko gradskih EDS se napajaju i prigradska područja, a često i udaljenija seoska naselja. Tada izdvajanje seoskih EDS kao posebne "kategorije" nema potrebnu težinu. Adekvatnije, to su seoske distributivne mreže u sklopu jedinstvenog gradskog EDS.

Preko gradskih EDS električna energija se raspodjeljuje i manjim industrijskim pogonima i ti potrošači se sa aspekta EDS sistema tretiraju kao tzv. direktni potrošači, a sama distribucija električne energije unutar pogona proučava se u sklopu konkretne industrijske distributivne mreže kao elementa gradskog EDS. Napajanje većih industrijskih objekata, kao što su npr. Kombinat aluminijuma i Željezara, ostvaruje se "direktno" preko industrijskih EDS.

Sa aspekta proučavanja gradskih EDS, gradovi se svrstavaju:

- **male gradove**: do oko 30000 stanovnika,
- **gradove srednje veličine**: od 30000 do 200000 stanovnika i
- **velike gradove** sa preko 200000 stanovnika

Posebnu grupu čine metropole sa (više)milionskim brojem stanovnika.

Osnovne osobenosti gradskih EDS su:

- **Visoke vrijednosti površinske gustine opterećenja** (g_p [MW / km^2]):

$$g_p = \frac{P_v}{A} \left[\frac{MW}{km^2} \right], \quad (1.1)$$

gdje je: P_v [MW] - vršna snaga posmatranog konzuma (dijele konzuma),

A [km^2] - površina posmatranog konzuma (dijela konzuma).

Vrijednosti površinskih gustina u gradskim EDS su od **desetina** MW / km^2 do **više stotina** MW / km^2 .

Trgovačko-administrativna područja velikih gradova i metropola imaju izuzetno visoke vrijednosti površinske gustine opterećenja, reda **više stotina** MW / km^2 (npr. Menhetn-ostrvska trgovačka četvrt Njujorka, je još 1970 god. dostignuta gustina opterećenja od $500 MW / km^2$). U stambenim područjima gradskih konzuma vrijednost površinske gustine opterećenja je najšeece reda **više desetina** MW / km^2 .

- **Primjena kablovskih mreža na distributivnim nivoima** (V SN, SN i NN).

Na napojnom nivou, dominira primjena nadzemnih elektroenergetskih vodova. To su vodovi VN, a u velikim gradovima – metropolama i vodovi V VN. U velikim gradovima – metropolama, sa izraženim problemom obezbjeđenja prostora za nadzemne vodove i visokim estetsko-urbanističkim standardima i zahtjevima za pozdanost napajanja, na napojnom nivou se primjenjuju kablovski vodovi VN, pa i VVN, kao npr. U EDS Berlina, kablovi 400 kV).

➤ Primjena konfiguracija koje obezbjeđuju visok nivo sigurnosti, npr. koncept sigurnosti “n-1” kombinovan sa principom “što veća ispala snaga to manje dozvoljeno trajanje prekida”. Karakteristične konfiguracije su: višestruko napajanje, dvostrano napajanje, prstenaste konfiguracije, složenopetljaste konfiguracije, radijalne konfiguracije sa uključenjem reserve,....

Specifičnosti seoskih EDS proizilaze iz karakteristika konzuma koji napajaju ovi sistemi. To su konzumi velikih površina sa razbacanim - međusobno udaljenim opterećenjima manje snage. Otuda i proizilazi osnovna karakteristika seoskih EDS:

➤ Niska površinska gustina opterećenja, koja se ovdje izražava u [kW / km^2].
➤ Primjena vazdušnih mreža praktično na svim naponskim nivoima.
➤ Velike dužine vodova, znatno veće nego kod gradskih EDS. Ovdje su i u NN mrežama prisutne dužine vodova od više km (dužine vodova NN treba držati u garnicama 300-500 m).

➤ Zbog velikih dužina vodova često je narušan kvalitet električne energije, odnosno povećani su gubici, padovi napona i struje zemljospoja. Radi obezbjeđenja potrebnog kvaliteta električne energije, na nivou SN ide se na primjenu viših napona, npr. napona 20 kV.

➤ Konfiguracije su dominantno radijalne. Veće pouzadnost obezbjeđje se odgovarajućom zaštitom koja npr. obezbjeđuje isključenje samo ogranka u kvaru, a ne čitavog glavnog voda i sl.

➤ U seoskim EDS se u novije vrijeme kao IN, pored postrojenja EES, pojavljuju i male elektrane (hidro i vjetro generatori, solarna postrojenja,...).

Industrijski EDS su namijenjeni napajanju i distribuciji električne energije unutar većih industrijskih kompleksa.

Takvi pogoni su npr. KAP sa snagom od preko 470MW - danas ispod 200 MW i Željezara sa snagom od oko 20 MW.

U proteklom periodu vršna snaga EES CG je dostizala vrijednost blizu 800 MW. Zadnjih godina, upravo zbog drastičnog smanjenja proizvodnje u KAP-u, vrijednost vršne snage je ispod 700 MW.

Osnovna specifičnost industrijskih EDS ogleda se u drugačijem, u odnosu na gradske i seoske EDS, pristupu i metodama proučavanju sistema: metode prognoze opterećenja, izbor konfiguracija, proračuni kvaliteta električne energije, odabir kablova i opreme koja zadovoljava specifične uslove sredine i dr.

I.3 STRUKTURA ELEKTRODISTRIBUTIVNIH SISTEMA

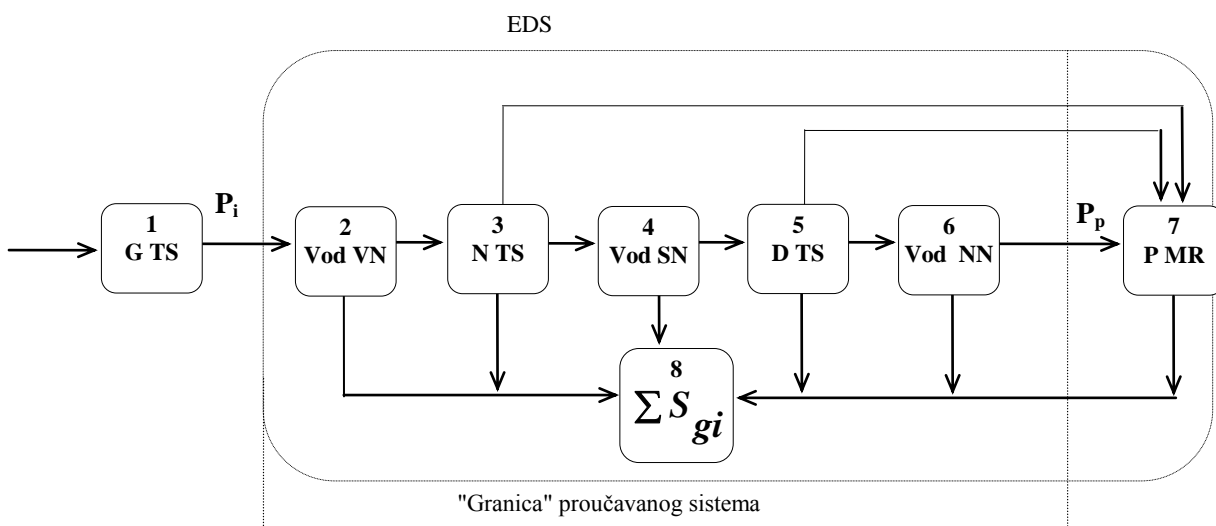
Struktura EDS iskazuje preko podsistema. Podjela EDS na podsisteme može se izvršiti na osnovu više kriterijuma:

1. prema funkciji,
2. prema naponskom nivou,
3. prema teritorijalnoj lociranosti i dr.

1. Prema funkciji u okviru EDS razlikujemo:

- **Sopstvene izvore električne energije (sopstvene elektrane);**
- **Napojne električne mreže** (vodovi VN i napojne TS);
- **Distributivne električne mreže** (vodovi SN, distributivne TS SN/NN i vodovi NN u EDS direktne transformacije; vodovi VSN, međutransformacija VSN/SN, vodovi SN, distributivne TS SN/NN i vodovi NN u EDS sa međutransformacijom);
- **Potrošačke električne mreže** i
- **Potrošače električne energije.**

Na slici 7 je dat funkcionalni blok dijagram EDS direktne transformacije (bez sopstvenih izvora), formiran prema toku električne energije.



Slika 7.

Električna snaga i tonjena vrš je osnovni parametra prema kome se projektuju svi elementi, odnosno EDS u cjelini.

Svakom bloku sa slici 7, izuzev bloku 8, u realnom sistemu odgovara skup elemenata istog tipa, prisutnih u okviru pojedinih podsistema jedinstvenog EDS. Blok 1 predstavlja napojnu tačku, odnosno "izvore napajanja" EDS, konkretno glavne TS VVN/VN. U okviru napojne mreže figurišu VN napojni vodovi - blok 2 i napojne TS VN/NN - blok 3. Distributivna mreža sadrži elemente SN mreža i NN mreža: blok 4 - vodovi SN, blok 5 - distributivne TS SN/NN i blok 6 - vodovi NN. Krajnja granica ED sistema su potrošačke mreže sa potrošačima električne energije - blok 7. Blok 8 simbolički sumira gubitke električne snage u EDS. Sa pojedinih nivoa potrošaši se mogu napajati direktno: veze $3 \Rightarrow 7$ i $5 \Rightarrow 7$.

U okviru prikazane strukture EDS nema distribuiranih izvora električne energije, odnosno sopstvenih elektrana. U slučaju njihovog postojanja, njihovo priključenje ostvaruje se u okviru distributivne mreže, dominantno na nivou SN, a u slučaju manjih jedinica i na nivou NN. Veće sopstvene elektrane, npr. veći vjetroagregati snaga više desetina MW, priključuju se u okviru napojnih mreža EDS.

2. Prema naponskom nivou u okviru EDS razlikujemo:

- Podsistem visokog napona (napojne mreže: vodovi VN sa napojnim TS);
- Podsistem srednjeg napona (vodovi SN i distributivne TS SN/NN u EDS direktne transformacije; vodovi VSN, međutransformacija VSN/SN, vodovi SN, distributivne TS SN/NN u EDS sa međutransformacijom) i
- Podsistem niskog napona (distributivne NN mreže: vodovi NN i potrošačke mreže).

3. Po kriterijumu teritorijalne lociranosti objekata u okviru gradskih EDS:

- Podsisteme spoljašnjeg napajanja grada;
- Unutrašnje gradske električne mreže i
- Potrošačke mreže.

Podsisteme spoljašnjeg napajanja grada čine vodovi prstena VVN, odnosno VN, obično vazdušni, sa odgovarajućim napojnim TS. Locirani su na periferiji grada. U podsistem spoljašnjeg napajanja mogu se uvrstiti i SN vazdušne mreže koje napajaju prigradske potrošače locirane na udaljenijim područjima, kao i napojne mreže seoskih konzuma koje su povezane sa posmatranim gradskim EDS.

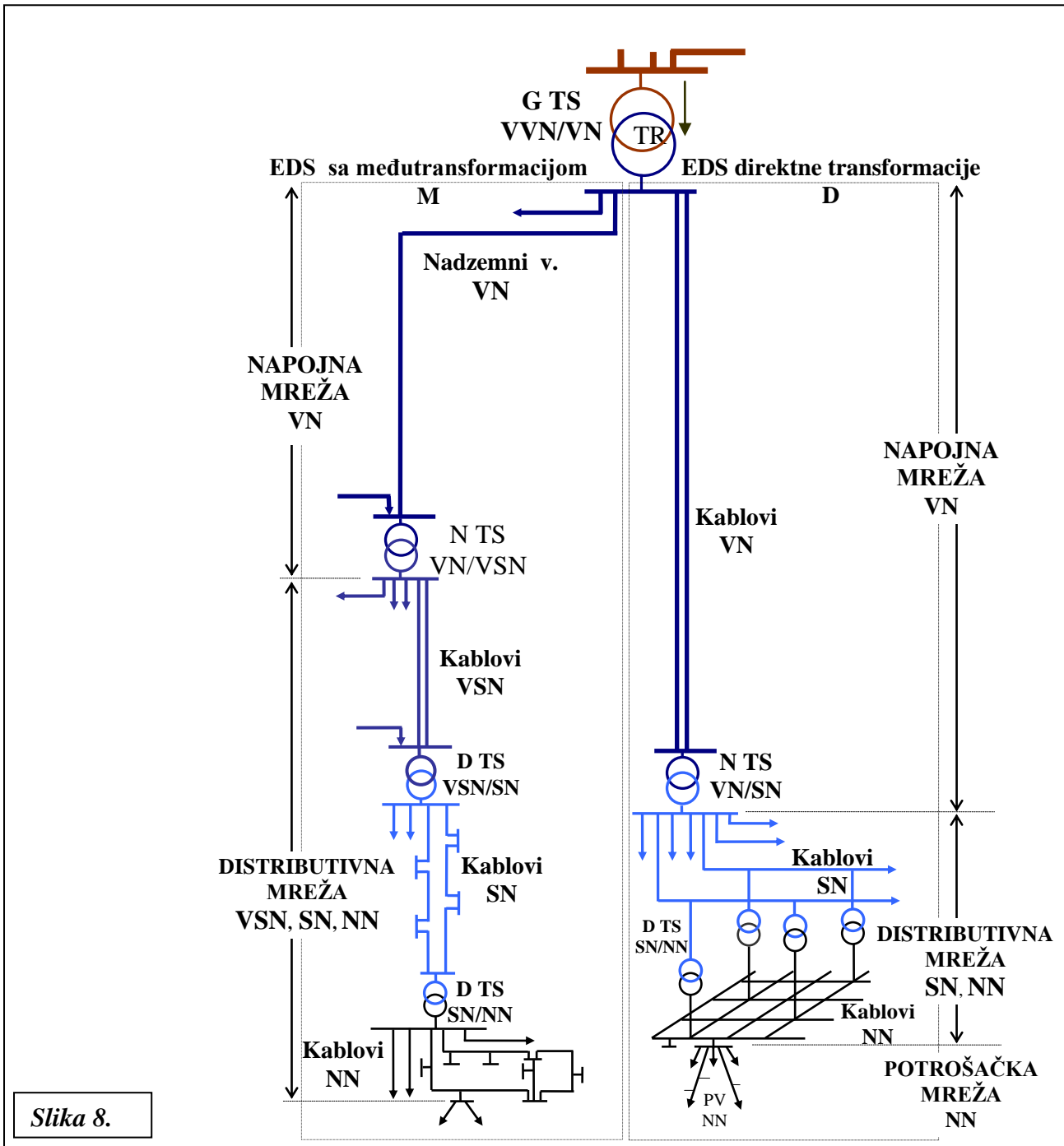
Unutrašnje gradske električne mreže čine napojne mreže "dubokog uvoda" (kablovi VN sa TS VN/SN u odgovarajućoj - SF6, izvedbi), kao i gradske distributivne mreže SN i NN (koje se u gradskim uslovima dominantno realizuju sa kablovskim vodovima) sa odgovarajućim distributivnim TS.

Strukturalna šema EDS prikazana je na *slici 8*. Prikazane su dvije varijante:

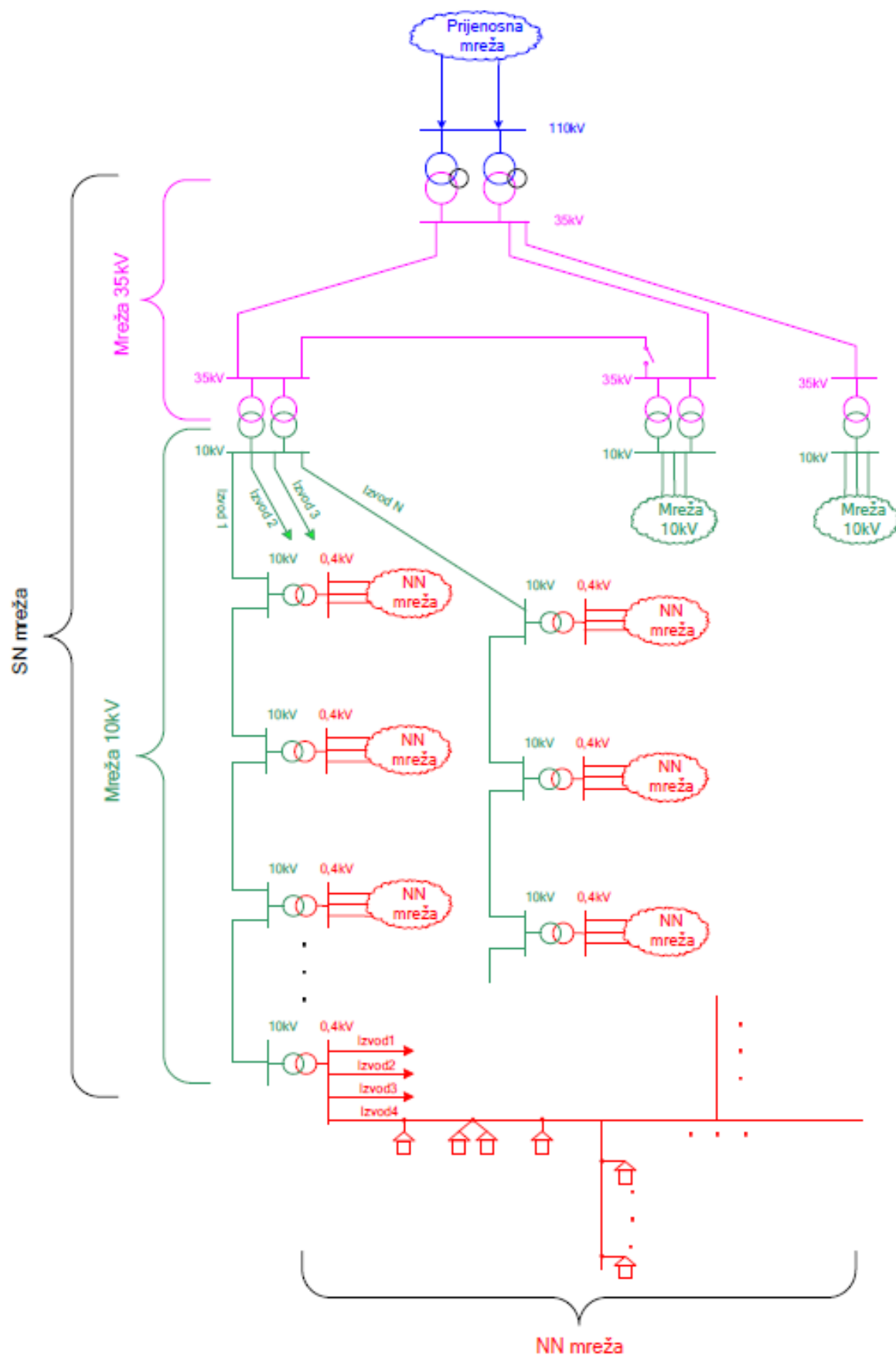
- D - EDS direktne transformacije i
- M – EDS sa međutransformacijom.

U EDS direktne transformacije – grana D: Napojna mreža je u obliku "dubokog uvoda" sa dvostrukim kablovskim vodovima i autonomnim (same sebi obezbjeđuju rezervu) napojnim TS VN/SN. Distributivna mreža je konfiguracije višestruko radijalno napajane složeno-petljaste niskonaponske mreže. Ovakva rješenja karakteristična su za konzume sa jakim i koncentrisanim opterećenjima, odnosno sa visokom površinskom gustinom opterećenja.

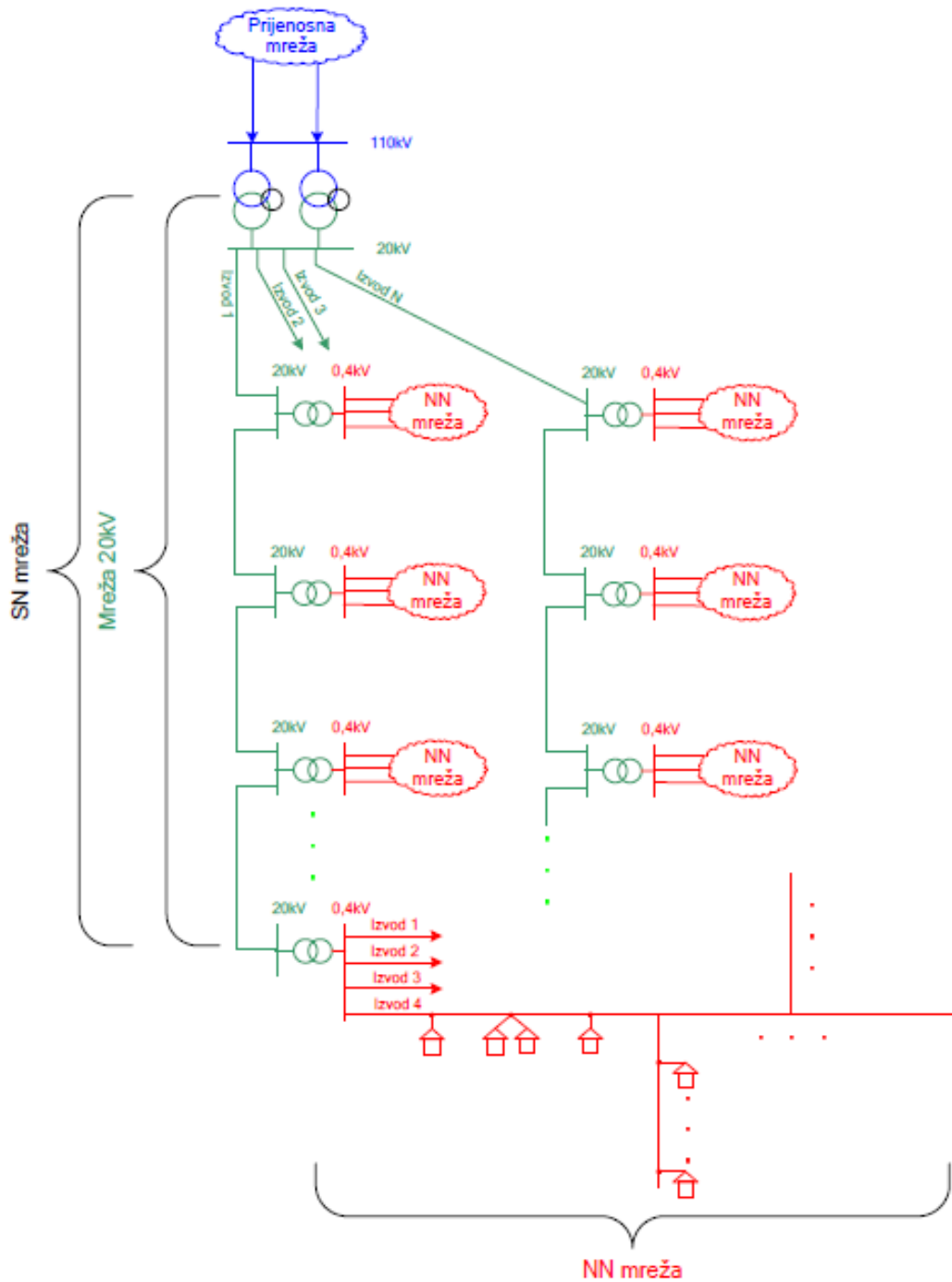
U EDS sa međutransformacijom – grana M: Napojna mreža je izvedena u obliku poluprstena (prstena) sa jakim (dvostrukim) nadzemnim vodovima. U okviru distributivne mreže srednjeg napona figurišu: mreža višeg SN, u konfiguraciji dvostruko napajanje, i mreža SN, u prstenastoj konfiguraciji. Distributivna mreža NN je radijalne konfiguracije sa mogućošću "ručnog prebacivanja" pojedinih ("važnijih") potrošača na napajanje iz susjednog kabla u slučaju ispada osnovnog kabla.



Slika 8.



Slika 8.a Struktura EDS sa medjutransformacijom



Slika 8.b Struktura EDS direktne transformacije

Tendencija razvoja EDS kod nas (i u svijetu također) ide ka smanjenju broja naponskih nivoa, što znači realizaciju EDS kao sistema direktne transformacije. Postojanje EDS sa međutransformacijom često je posljedica razvoja sistema. Na početku EDS je koncipiran za manji konzum i realizovan je napojnom mrežom nivoa VSN (npr. 35 kV) i sa SN i NN distributivnom mrežom (npr. 10 kV i 0,4 kV). Razvoj konzuma uslovio je uvođenje VN (npr. 110 kV) na napojnom nivou. Tako, ranija napojna mreža, preuzima ulogu distributivne mreže VSN, a sistem poprima strukturu sistema sa međutransformacijom. Pri tome se dalja razvojna opredeljenja, najčešće imaju strukturu sistema direktne transformacije.

I.4 GRANIČNI NAPON PRENOS-DISTRIBUCIJA

Za napon na granici između prenosa i EDS je uobičajen termin: **granični napon prenos-distribucija**.

Vrijednost tog napona zavisi od skale nazivnih napona i veličine i nivoa razvijenosti EES-a i njihovih EDS sistema.

Opšta karakteristika graničnog napona prenos-distribucija je stalni porast vrijednosti tog napona. Tako se danas u okviru EDS, prvenstveno EDS velikih gradova, srijeću naponi koji se istovremeno primjenjuju i na prenosnom nivou.

Radi identifikacije vrijednosti graničnog napona prenos-distribucija, analiziraćemo promjene naponskih nivoa u okviru EDS sa porastom konzuma i vršnog opterećenja, odnosno razvojem grada od malog, preko srednjeg do velikog grada, odnosno metropole.

Za konzum malog grada, vršne snage npr. 30 MW, potrebe potrošača u električnoj snazi i energiji mogu se zadovoljiti unutar osnovnog SN (npr. 10 kV) i sa napajanjem iz TS VSN/SN (npr. G TS 35/10 kV). Ovdje je napon 35 kV prenosni, a napon 10 kV distributivni:

- **10 kV / 35 kV (za male konzume, desetina MW)**
D ← / ⇒ P

Sa porastom opterećenja (npr. iznad 40 MW), odnosno sa razvojem konzuma pojavljuje se potreba za višim naponom unutar samog konzuma, kao i za većom snagom IN. Do skoro prenosna mreža 35 kV, preuzima ulogu napojne mreže EDS, razvijajući se unutar samog konzuma, sa ciljem povezivanja novih IN (npr. G TS 110/35 kV) i TS 35/10 kV koje postaju napojne TS za pojedina potrošačka jezgra konzuma. Ovdje je:

- **10, 35 kV / 110 kV (porast konzuma: > 40 MW)**
D ← / ⇒ P

Sa porastom opterećenja reda 100 MW i više, neophodno je na napojnom nivou preći na viši, konkretno 110 kV napon, pa je:

- **10, 35, 110 kV / 400 kV (porast konzuma: >100 MW)**
D ← / ⇒ P

Sada u okviru EDS na SN distributivnom nivou figuriše i napon 35 kV, kao viši srednji napon, pa je to EDS sa međutransformacijom: **0.4/ 10 /35/110 kV / 400 kV**

D ← / ⇒ P

Između 110 kV napojnog nivoa i distributivnog nivoa veza se može ostvariti direktno preko N TS 110/10 kV. Tada na SN distributivnom nivou imamo jedan srednji napon (10 kV), pa je to EDS direktne transformacije:

$$\mathbf{0.4/10 /35/110\ kV / 400\ kV}$$
$$\mathbf{D \leftarrow / \Rightarrow P}$$

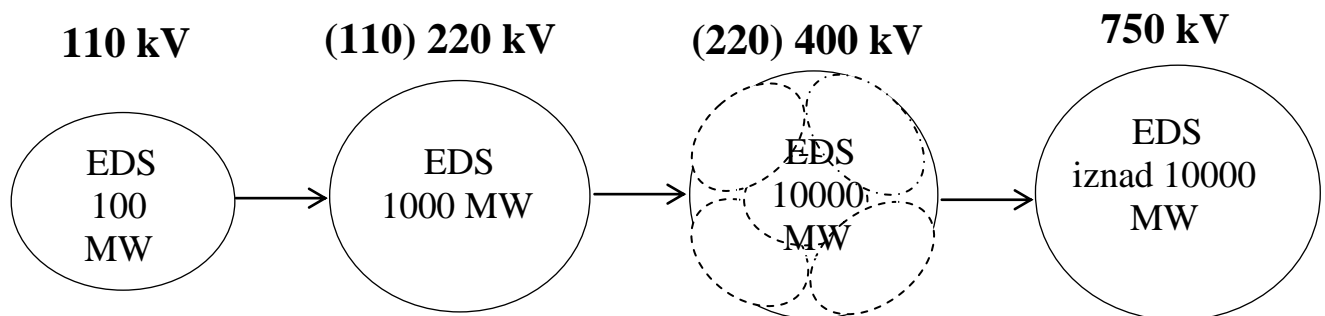
Pri još većim snagama, **reda 1000 MW** i više neophodno je preći **na napajanje pod 220 kV naponom, odnosno 400 kV naponom**. Napon 220 kV zbog nedovoljne ekonomičnosti treba da ustupi mjesto naponu 400 kV.

400 kV naponom mogu se zadovoljiti konzumi koji se mogu obuhvatiti jednim prstenom i kada su snage znatno veće od 1000 MW, normalno do snage oko 3000 MW.

Veliki gradovi sa snagama reda 10000 MW obično imaju više jezgara. Napojne mreže takvih gradova realizuju se u klasi VVN. Tu takođe može zadovoljiti napon 400 kV.

Za još veće snage (više desetina hiljada MW), uvodi se još viši napon, npr. 750 kV, kao u EDS Pariza.

Slika 9 ilustruje vezu između veličine konzuma, odnosno vršne snage i napona napojnog nivoa EDS kao graničnog napona prenos-distribucija.



Slika 9. Napojni naponski nivoi EDS

1.5 NAPONSKI NIVOI I TRANSFORMACIJE U EDS

Skale i vrijednosti standardnih napona daju se u okviru odgovarajućih standarda zemalja, a određeni su ukupnim razvojem elektroprivrede jedne zemlje, nivoem elektrificiranosti i razvoja industrije, razvojnim opredeljenjima u oblastima izrade elektroopreme, jediničnim snagama generatora u elektranama kao i karakteristikama potrošača električne energije i sl. Zato se i skale i vrijednosti napona sa vremenom mijenjaju, sa tendencijom porasta napona, a takođe i tendencijom unifikacije na svijetskom nivou što ima značajne tehničko-ekonomske prednosti. Unifikacija napona praćena je značajnim privrednim pogodnostima, izraženim prvenstveno u smanjenju broja tipova elektroopreme, npr. kablova, transformatora i sl. Ovaj proces naročito je izražen u zapadnim zemljama, gdje je zbog postojanja velikog broja privatnih elektrokompanija i broj korišćenih napona u sistemima napajanja električnom energijom bio veoma veliki:

Tokom razvoja **EDS Londona** funkcionisale su mreže 22 različita napona. Danas se još mogu sresti mreže napona: 275, 132, 66, 33, 22, 11, 6.6 i 0.4 kV. Perspektivno, sistemi napajanja svih regiona realizovaće se sa 5 napona: 275, 132, 33, 11 i 0.4 kV

U Francuskoj se teži ka 3 napona u okviru EDS: 225, 22 i 0.4 kV. Za velike konzume uvode se i VVN: 400 i 750 kV.

U Njemačkoj se razvoj EDS bazira na skali: 400, 220, 110, 20, 10 i 0.4 kV. Pri tome se forsiraju naponi 400, 110, 10 i 0.4 kV tj. nastoji se da se svi EDS baziraju na upotrebi mreža ova 4 naponska nivoa. Tako u okviru EDS Hamburga još figurišu mreže sa 5 napona: 110, 25, 10, 6 i 0.38 kV, dok su u programima razvoja predviđene mreže napona: 400, 110, 10 i 0.4 kV. Na istoj skali napona bazira se i razvoj EDS Berlina.

Kod nas su vrijednosti i skale nazivnih napona data standardima: JUS N.A2.001, 1989- Standardni naponi i JUS N.A2.001/1, 1992- Standardni naponi, izmjena.

Razvoj napojnih mreža EDS bazira se na 110 kV naponu, a sada na napojnom nivou imamo i napon 35 kV.

Za distributivne mreže SN dolaze u obzir vrijednosti 10 i 20 kV. Sada na SN nivou dominira napon 10 kV, a figuriše i napon 35 kV, kao viši SN.

Koji srednji napon ima prednost ?

Kod nas se prvenstveno vode polemike oko napona 10 kV i napona 20 kV. **Opšte je da je svaki viši napon, dobro iskorišćen, ekonomičniji od nižeg napona**, pa već u tom smislu i napon 20 kV u odnosu na napon 10 kV.

Međutim u uslovima već razvijene kablovske mreže 10 kV (nekad u postojećem sklopu sa 35 kV) i nedozvoljenog korišćenja tih kablova pod napon 20 kV, kao i u uslovima razvijenije proizvodnje 10 kV opreme, a time i značajno niže cijene, i uz niz drugih specifičnosti vezano za karakteristike konzuma, često se kao povoljnije dobija rješenje EDS sa 10 kV srednjim naponom.

Broj transformacija ?

Opšti odgovor na pitanje broja transformacija unutar EDS, bio bi da **primjena direktnih transformacija (npr. 110/10 ili 110/20 kV, eventualno 220/20 kV) ima određene ekonomske prednosti u odnosu na sistem sa međutransformacijom.**

No bez obzira na ove opšte stavove o povoljnosti direktne transformacije, odgovor na pitanje broja transformacija u okviru konkretnih EDS treba da slijedi iz adekvatnih tehničko-ekonomskih optimizacionih analiza, koje će na odgovarajući način obuhvatiti sve specifičnosti konkretnog sistema. Značajan uticaj na rješenje tu može imati postojeće stanje sistema, npr. već izgrađena 35 kV mreža i razvijena proizvodnja opreme odgovarajućeg napona, kad se može desiti da je cijena opreme višeg napona, npr. 35 kV, neznatno veća od cijene opreme nižeg napona, npr. 20 kV.

Uvođenje međunapona u distributivnim mrežama, može biti povoljno, npr. sa aspekta održavanja povoljnih naponskih prilika i smanjenja snaga kratkog spoja.

Prema njemačkim istraživanjima, uvođenjem međunapona 30 kV može se, u zavisnosti od dužine mreže, snaga kratkog spoja u mrežama 10 kV sniziti i više nego dvostruko. Pri tome se cijena razvodno-komutacione aparature, npr. pri sniženju snage kratkog spoja sa 500 na 250 MVA smanjuje u odnosu 1.48:1. Znači, sa povećanjem investicija zbog uvođenja međunapona (30 kV napona), smanjuju se troškovi mreže nižeg napona (10 kV mreže).

I pored toga, kompletna tehničko-ekonomska analiza pokazuje neracionalnost sistema sa međutransformacijom, konkretno stema 110/30/10 kV, u odnosu na sistem direktne transformacije, konkretno sistem 110/10 kV. Samo pri niskim površinskim gustinama opterećenja, ispod 1MVA/km², varijante postaju ravnopravne.

I.6 EDS DIREKTNE TRANSFORMACIJE I EDS SA MEĐUTRANSFORMACIJOM - Usporedna analiza sa aspekta vrijednosti snaga KS -

Snage kratkog spoja (KS) se za pojedine naponske nivoe ograničavaju na određene vrijednosti, diktirane konstrukcionom izvedbom, odnosno izdržljivošću opreme (prekidača) s obzirom na raznolika naprezanja kojima je ona izložena u režimima kratkog spoja, a takođe i na mogućnosti njihovog djelovanja u takvim uslovima.

Na 10 kV naponskom nivou snage trolnog KS se najčešće ograničavaju na **250 ili 350 MVA**, u skladu sa naznačenim snagama 10 kV prekidača.

Vrijednost snage KS zavisi od snage i relativni napon kratkog spoja transformatora u TS preko koje se napaja posmatrana tačka mreže.

Npr.: U slučaju trolnog KS na 10 kV sabirnicama TS X/10 kV, sa transformatorom naznačene snage (S_{nTR} [MVA]) i relativnog napona kratkog spoja (u_k [%]), snaga na mjestu kratkog spoja (S_{3KS10} [MVA]) je:

$$S_{3KS10} = \frac{S_{nTR}}{u_k + \frac{S_{nTR}}{S_{3KSM}}}, \quad (1.2)$$

gdje je preko S_{3KSM} [MVA] uračunat uticaj X kV napojne mreže i ostalog dijela povezanog EES.

Pošto je $S_{3KSM} \gg S_{nTR}$, odnos S_{nTR}/S_{3KSM} je veoma mala vrijednost i može se zanemariti, pa je:

$$S_{3KS10} \approx \frac{S_{nTR}}{u_k}. \quad (1.3)$$

Snaga trofaznog KS na 10 kV sabirnicama, srazmjerna je naznačenoj snazi, a obrnuto srazmjerna relativnom naponu kratkog spoja transformatora.

U tabeli 1 date su vrijednosti naznačenih snaga (S_{nTR} [MVA]) i relativnog napona kratkog spoja (u_k [%]) nekih transformatorskih jedinica, proizvođača sa prostora bivše Jugoslavije.

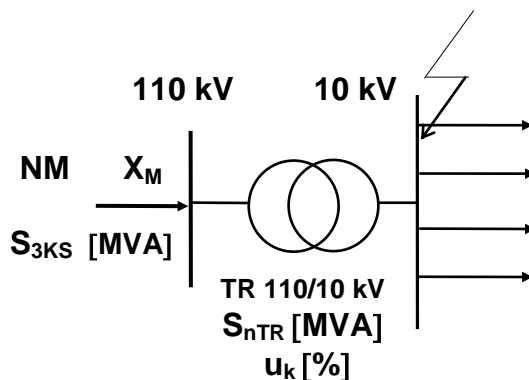
Tabela 1.

m [kV/kV]	S_{nTR} [MVA]	u_k [%]
10/0.4	0.16, 0.25, 0.4, 0.63, 1, 1.6	0.05 - 0.07
35/10	4, 8, 12.5, 16	0.08
110/10	20, 40, 63	0.1 - 0.11
400/110	150, 300	0.14

Problem visokih vrijednosti snaga KS ispoljava se izraženije kod EDS direktne transformacije i kod zatvorenih konfiguracija električnih mreža.

U EDS direktne transformacije se značajno povećavaju snage transformatorskih jedinica u TS VN/SN i tu velike vrijednosti struja KS praktično onemogućavaju paralelan rad većih transformatorskih jedinica u okviru TS VN/SN.

U EDS direktne transformacije, posmatrajmo napajanje distributivne 10 kV mreže preko N TS 110/10 kV sa jednim transformatorom (dvonamotajnim) naznačene snage S_{nTR} [MVA] i relativnog napona kratkog spoja u_k [%] (slika 10).



Slika 10.

a) Neka je $S_{nTR} = 40$ MVA i $u_k = 0.1$. Snaga trofaznog KS na 10 kV strani je:
 $S_{3KS10} \approx 400$ MVA.

b) Neka je $S_{nTR} = 63$ MVA i $u_k = 0.11$. Snaga trofaznog KS na 10 kV strani je:
 $S_{3KS10} \approx 573$ MVA.

U oba slučaja vrijednosti snaga KS su iznad (znatno iznad) dozvoljenih za 10 kV naponski nivo, pa treba preduzeti mjere za njihovo smanjenje, odnosno ići na rješenje koje zadovoljava sa aspekta dozvoljenih vrijednosti snaga KS.

Moguće su različite **mjere za ograničenje snaga KS na dozvoljene vrijednosti:** primjena transformatora sa povećanim relativnim naponom kratkog spoja, primjena tronamotajnih transformatora, ugradnja prigušnica,...

1. Primjena transformatora sa povećanim relativnim naponom kratkog spoja.

Danas se izrađuju napojni transformatori sa reaktivnim naponom kratkog spoja do vrijednosti: 16% ... 20%.

Kod transformatora sa većim relativnim naponom kratkog spoja povećavaju se gubici, kao i potreba za finim opsegom regulacije napona, npr. $110 \pm 15\%$ (12x1.25) / 10(20) kV. Ovo dovodi do poskupljenja kako transformatora tako troškova prenosa.

Posmatrajmo, kao u predhodnom slučaju, napajanje distributivne 10 kV mreže preko N TS 110/10 kV sa jednim transformatorom (dvonamotajnim) naznačene snage S_{nTR} [MVA] i relativnog napona kratkog spoja u_k [%] .

a) Neka je $S_{nTR} = 40$ MVA i $u_k = 0.16$. Snaga trolnog KS na 10 kV strani je:
 $S_{3KS10} \approx 250$ MVA.

b) Neka je $S_{nTR} = 63$ MVA i $u_k = 0.16$. Snaga trolnog KS na 10 kV strani je:
 $S_{3KS10} \approx 394$ MVA.

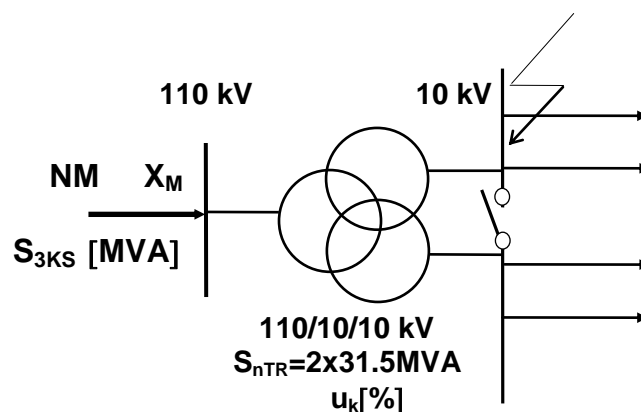
U prvom slučaju, primjenom transformatorom veće vrijednosti u_k [%] smanjena je snaga trolnog KS na nivo granične od 250 MVA.

U drugom slučaju i dalje je vrijednosti snaga KS iznad graničnih.

2. Primjena tronamotajnih transformatora

Problem velikih vrijednosti snaga KS u EDS direktne transformacije može se riješiti primjenom u napojnim TS X/10 kV tronamotajnih transformatora.

Na *slici 11* prikazano je to rješenje sa tronamotajnim transformatorom naznačene snage $S_{nTR} = 2 \times 31.5$ MVA.



Slika 11.

a) Neka je $u_k = 0.1$. Snaga troleznog KS na 10 kV strani je:

$$S_{3KS10} \approx 315 \text{ MVA},$$

što zadovoljava ako je ugrađena komutaciona oprema (prekidači) naznačene snage 350 MVA.

b) Neka je $u_k = 0.14$. Snaga troleznog KS na 10 kV strani je:

$$S_{3KS10} \approx 225 \text{ MVA},$$

što zadovoljava i za komutacionu opremu (prekidače) naznačene snage 250 MVA.

Pored navedenih, postoje i druge mjere za ograničenje snaga KS u sistemima direktne transformacije, npr. **ugradnja prigušnica** (povećava se induktivnost, odnosno reaktansa kola i tako smanjuje snaga KS) i dr.

Uvođenje međunapona u distributivnim mrežama, može biti povoljno, npr. sa aspekta održavanja povoljnih naponskih prilika i smanjenja snaga kratkog spoja.

I pored toga, tehničko-ekonomske analize pokazuju neracionalnost sistema sa međutransformacijom, konkretno sistema 110/35/10 kV, u odnosu na sistem direktne transformacije, konkretno sistem 110/10 kV. Samo pri niskim površinskim gustinama opterećenja, ispod 1 MVA/km², varijante postaju ravnopravne.

I.7 OPTEREĆENJE I POVRŠINSKA GUSTINA OPTEREĆENJA KONZOMA EDS

EDS se projektuju i grade prema karakteristikama potrošača i njihovim zahtjevima u pogledu snage koju angažuju, potrebne količine i kvaliteta električne energije, nivoa pouzdanosti i dr.

Potrošači sa svojim zahtjevima čine potrošnju. Potrošnja se može posmatrati na različitim nivoima sistema: potrošnja na nivou potrošača, npr. šdomaćinstva, potrošnja na nivou D TS, potrošnja na nivou N TS, ukupna potrošnja konzuma i sl.

Osnovna karakteristika potrošnje je opterećenje u posmatranom vremenskom trenutku, odnosno srednje opterećenje u posmatranom vremenskom intervalu., kao i električna energija koju potrošači preuzimaju u određenom vremenskom periodu.

Opterećenje može biti dato u [kW] - [MW], [kVAr] - [MVar], [A],...

Najčešće se kao opterećenje razmatra aktivna snaga potrošnje u [kW] - [MW] i to njena srednja vrijednost u definisanov vremenskom intervalu (npr. 30 min), uz poznati faktor snage.

Na nivou pojedinačne potrošnje i na nivou NN opterećenje se najčešće izražava u [kW], a na višim naponskim nivoima i za djelove sistema ili sistem u cjelini [MW].

Opterećenje je u opštem slučaju promjenljivo u toku vremena, npr. u toku sata, dana ($T=24$ h), mjeseca, godine ($T=8760$ h) i sl.

Promjena opterećenje u vremenu prikazuje se preko dijagrama opterećenja.

Dijagram opterećenja, zavisno od toga za koji se vremenski period prikazuje promjena opterećenja, može biti : **dnevni dijagram opterećenja**, mjesečni dijagram opterećenja, sezonski dijagram opterećenja, **godušnji dijagram opterećenja** i sl.

Izbor i provjera parametara elemenata EES vrši se prema režimima kada opterećenje potrošnje ispoljava naj snažnije dejstvo na elemente sistema. Vremenski promjenljivo opterećenje (posmatrano za period od jedne godine) u tim režimima ima maksimalnu vrijednost i uobičajeno se naziva **vršno opterećenje** (P_v [kW] - P_v [MW]) ili **maksimalno opterećene**, odnosno **vršna snaga** ili **maksimalna snaga**.

Vršno opterećenje grupe potrošača, odnosno vršno opterećenje više elemenata ne dobija se sabiranjem vršnih opterećenja pojedinačnih potrošača, odnosno vršnih opterećenja pojedinačnih elemenata, jer se pojedinačna vršna opterećenja najčešće ne pojavljuju jednovremeno.

Pri određivanju vršnog opterećenje grupe potrošača, odnosno vršnog opterećenje više elemenata, nejednovremenost pojavljivanja pojedinačnih vršnih opterećenja uvažava se preko tzv. faktora jednovremenosti opterećenja.

Faktor jednovremenosti opterećenja N elemenata (potrošača) se definiše kao odnos vršnog opterećenja svih N elemenata (potrošača) - P_{vN} i sume vršnih opterećenja pojedinačnih elemenata (potrošača) - P_{vi} :

$$j_N = \frac{P_{vN}}{\sum_{i=1}^N P_{vi}} \quad (1.4)$$

Recipročna vrijednost faktora jednovremenosti opterećenja je **faktor raznovremenosti opterećenja** :

$$f_r = 1/j \quad (1.5)$$

Faktor jednovremenosti opterećenja, odnosno faktor raznovremenosti opterećenja definiše se i između pojedinih nivoa sistema. Pri tome :

• **najviši nivo je jednovremeno vršno opterećenja konzuma EDS-a (JVO)**, praktično nivo G TS VVN/VN, a ostali nivoi u EDS direktne transformacija su :

- VN,
- N TS VN/SN,
- SN,
- D TS SN/NN

- i NN.

U tabeli 2 su date vrijednosti faktora raznovremenosti opterećenja između nivoa EDS direktne transformacije, korišćene u studiji razvoja EDS Londona i drugih gradova u kontinentalnom dijelu Evrope.

Tabela 2. Vrijednosti faktora raznovremenosti opterećenja između nivoa EDS

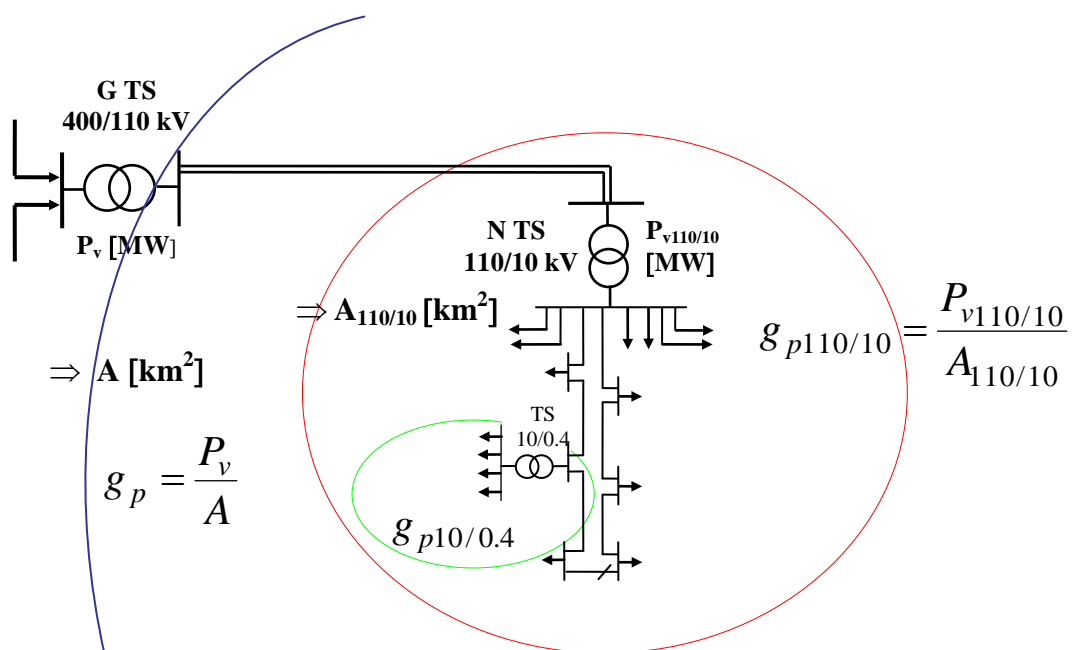
Nivo (komponenta) sistema	NN	D TS SN/NN	SN	N TS VN/SN	VN
JVO	1.55	1.24	1.15	1.13	1.12
VN	1.39	1.11	1.03	1.01	
N TS VN/SN	1.37	1.10	1.02		
SN	1.35	1.08			
D TS SN/NN	1.25				

Površinska gustina opterećenja (g_p [MW / km^2]) se definiše kao odnos vršne snage (P_v [MW]) i pripadajuće površine konzuma (A [km^2]):

$$g_p = \frac{P_v}{A} \left[\frac{MW}{km^2} \right]$$

Za seoske konzume površinska gustina opterećenja se izražava u [kW / km^2]:

Vrijednost površinske gustine opterećenja koje se daju u literature odnose se, ako se drugačije ne precizira, na vrijednost na nivou ukupnog konzuma, odnosno na nivou jednovremenog vršnog opterećenja (JVO). Praktično je to nivo G TS .



Slika 12.

Vrijednosti površinskih gustina opterećenja za pojedine nivoe EDS (slika 12) se razlikuju - u skladu sa vrijednostima faktora jednovremenosti, odnosno faktora raznovremenosti između pojedinih nivoa.

Kako se u svim rješenjima i izvedbama EDS, na nivou G TS u kontinuitetu vrše mjerenja i snage i energije, poznaje se vrijednost P_v [MW]. Takođe se zna površina konzuma A [km²]. Znači, za vrijednost g_p postoje podaci iz EDS u eksploataciji.

Tada se vrijednosti površinske gustine opterećenja na ostalim nivoima mogu odrediti preko g_p i odgovarajućih faktora raznovremenostm (jednovremenosti).

Površinska gustina opterećenja na nižim napnskim nivoima, npr na nivou D TS SN/NN (g_{pDTS}) je:

$$g_{pDTS} = f_{rJVO-DTS} \cdot g_p, \quad (1.6)$$

gdje je : g_p [MW / km²]- površinska gustina opterećenja na novou konzuma (nivo JVO), jednaka odnosu vršnog opterećenja konzuma i površine kovzuma.

Takođe, kompletna mjerenja (snage i energije) postoje i na nivou N TS i poznaje se površina pripadnog dijela konzuma. Znači, i za vrijednost g_{pNTS} postoje podaci iz EDS u eksploataciji. Dalje se preko odgovarajućih vrijednosti faktor raznovremenosti između nivoa N TS i posmatranih nivoa, mogu odrediti i površinske gustine opterećenja na tim nivoima.

Na nižim naponskim nivoima, najčešće ne postoje kompletna mjerenja, pa se površinske gustine opterećenja na tim nivoima određuju predhodno opisanim postupkom.

II. OSNOVNI PRINCIPI REALIZACIJE GRADSKIH EDS

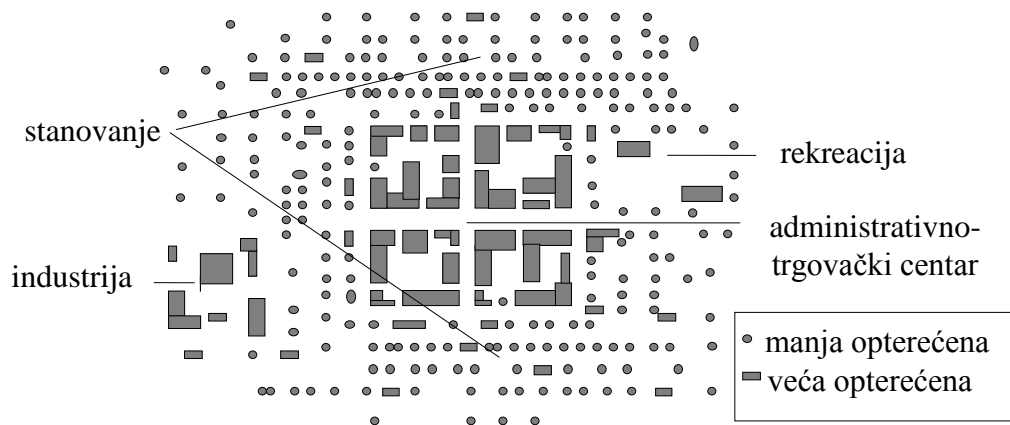
Svaki gradski EDS ima svoje specifičnosti koje su rezultat niza uticajnih faktora, kao i karakteristika konzuma napajanog područja. Ipak, uočavaju se i neki opšti - zajednički principi i rješenja po kojima se gradski EDS realizuju.

II.1. KARAKTERISTIKE KONZUMA GRADSKIH EDS

Uticajni parametri

Pri planiranju EES, prenosnih mreža i EDS, gradski konzum (dio konzuma) se posmatra kao cjelina, a njegovo opterećenje dobija preko globalne prognoze, bazirane najčešće na "preslikavanju" podataka iz prošlosti u budućnost.

Pored globalne prognoze, kod planiranja distributivnih mreža EDS neophodno je prostorno sagledavanje (prostorna prognoza) opterećenja. Ovo zahtjeva da se konzum tretira kao skup pojedinačno identifikovanih potrošača (grupa potrošača) prostorno razmještenih u okviru pojedinih zona grada (*Slika II.1*)



Sl.II.1. Konzum gradskog EDS

Strategiju razvoja gradskog područja daje generalni urbanistički plan. U njemu su sadržani svi elementi koji određuju grad, počev od geografskog položaja, površine, reljefa, strukture zemljište, klime, saobraćajne mreže i sl., pa do stanovništva, broja i strukture stanova, infrastrukturnih objekata, administracije, trgovine, zanatstva, industrije i dr. Upravo su ovi objekti nosioci potrošnje električne energije. Stoga je precizna urbanistička razrada veoma važna za elektroenergetsku prostornu raspodjelu snaga i gustina opterećenja.

Na elektroenergetske parametre potrošnje i karakteristike EDS značajan uticaj imaju:

- gustina i struktura gradnje,
- gustina stanovanja,
- namjena objekata

- saobraćajna infrastruktura i dr.

Gustina gradnje se iskazuje odnosom izgrađene i planirane za gradnju površine (površina pod objektima) i ukupne površine razmatranog područja (zone), a **struktura gradnje** etažnošću objekata, rastojanjem između lamela i sl.

Izgrađene površine su dominantne u klasičnom načinu gradnje gradova i njihov udio se kreće od 50 do 80%. U zonama bliže centru grada, taj udio je najčešće blizu gornje granice datog intervala, a opada do donje granice i niže u udaljenijim zonama. U savremenim rješenjima izgradnje gradova česte su znatno niža gustina gradnje (od oko 20%), odnosno znatno veći udio slobodnih površina (zelene površine, površine zabavno-rekreativnog tipa) u ukupnoj površini područja.

Gustina i struktura gradnje jedinstveno se iskazuju tzv. **indeksom izgrađenosti**, a koji predstavlja odnos razvijene površine etaža objekata i površine namijenjene tim objektima. Njime se jednostavnije izražava uticaj urbanističkih parametara na elektroenergetske parametre, npr. površinsku gustinu opterećenja. Vrijednost indeksa izgrađenosti kreće se obično od nekog desetog dijela na periferiji grada (niska gradnja) do vrijednosti od 1 do 2 u centralnim djelovima grada. U slučaju maksimalne eksploatacije zemljišta (visoka gradnja sa malo zelenih površina) vrijednost ovog indeksa može biti i reda 10.

Gustina stanovanja, u direktnoj je vezi sa indeksom izgrađenosti. Karakteristične gustine stanovanja za stambene zone su: pretežno niska gradnja (4000 - 8000) st/km², mješovita gradnja (8000 -15000) st/km² i pretežno visoka gradnja (objekti sa više od 6 etaža) 15000 do 35000 st/km².

Za elektroenergetsku prostornu raspodjelu snaga i gustina opterećenja, potrebno je poznavati i **namjenu objekata**, a kojom se ustvari iskazuje **struktura potrošnje**. Učešće stambenih objekata, izraženo odnosom razvijene površine stambenih objekata prema ukupnoj razvijenoj površini objekata, različito je u pojedinim zonama, od sasvim zanemarljivog u industrijskim zonama, do preovladavajućeg, u iznosu od oko 85%, u stambenim zonama.

Urbanističko rješenje saobraćajnica ispoljava svoj uticaj prvenstveno na oblik mreža EDS, jer se uobičajeno **energetski kablovi postavljaju ispod uličnih trotoara**. Klasični način urbanizacije (sistem zatvorenih blokova), okarakterisan pretežno ortogonalnom saobraćajnom mrežom i ravnomjerno postavljenim objektima duž ulica uličnog četvorougla, predstavljaju idealnu podlogu za izgradnju određenih tipova npr. složeno-petljastih NN distributivnih mreža.

Rastojanja između uličnih raskršća (uzdužne i poprečne dužine ulica) različita su u konkretnim rješenjima, a najčešće imaju vrijednosti iz intervala (100 - 300) m. Kraće dužine ulica, do uključivo 40 m, kao i one iznad 400 m, ređe su. Kod savremenih načina gradnje (sistem otvorenih blokova), dužine ulica koje formiraju blokove su i iznad 400 m, a objekti najčešće nisu ravnomjerno postavljeni duž ulica kao u klasičnim urbanističkim rješenjima.

Koncentracija na određenim prostorima unutar blokova većih objekata, znači pojavu jačih punktova električnih opterećenja. Ovo zahtijeva zasebne TS SN/NN

za gotovo svaki objekat, čime se NN distributivne mreže praktično transformišu u potrošačke mreže objekata.

Pomenute karakteristike konzuma, sa aspekta uticaja na elektroenergetske parametre potrošnje i karakteristike EDS-a možemo svrstati u kategoriju **indirektnih uticajnih parametara**.

Karakteristike potrošača električne energije mogu se svrstati u kategoriju direktnih uticajnih parametara, a to su:

- vršna snaga,
- potrošnja električne energije,
- dijagram opterećenja,
- oblik krive strujnog opterećenja,
- faktor jednovremenosti opterećenja i dr.

Površinska gustina opterećenja i specifična opterećenja su osnovni elektroenergetski parametri potrošnje koji se koriste u svim fazama od planiranja do eksploatacije EDS-a.

Specifična opterećenja su:

- **Opterećenje po stanovniku** [kW / st]
- **Opterećenje po domaćinstvu** [kW / d].

Specifična opterećenja ($[kW / st]$ ili $[kW / d]$) predstavljaju, ukoliko se konkretno drugačije ne definiše, **specifično vršno opterećenje na nivo JVO, odnosno nivou ukupnog konzuma**:

- **Opterećenje po stanovniku:** $P_s = \frac{P_v}{N_{st}} [kW / st]$.
- **Opterećenje po domaćinstvu:** $P_d = \frac{P_v}{N_d} [kW / d]$.

$P_v [MW]$ je vršno opterećenje ukupnog konzuma.

N_{st} je ukupan broj stanovnika.

N_d je ukupan broj domaćinstava.

Za velike gradove, sedamdesetih godina su vrijednosti specifičnog opterećenja po stanovniku (jednovremeno učešće u vršnom opterećenju na najvišim naponima svih vrsta potrošnje) bile ispod 1 kW/st.

Konkretno: Minhen 1970 god i Pariz 1965 god. oko 0.4 kW/st, Berlin (zapadni Berlin) 1971 god preko 0.65 kW/st, London 1965 god. preko 0.67 kW/st i Hamburg 1970 god. do 0.71 kW/st.

Porast specifičnih parametara je u skladu sa godišnjim porastom potrošnje električne energije, odnosno vršne snage, a koji se u razvijenijim zemljama Evrope

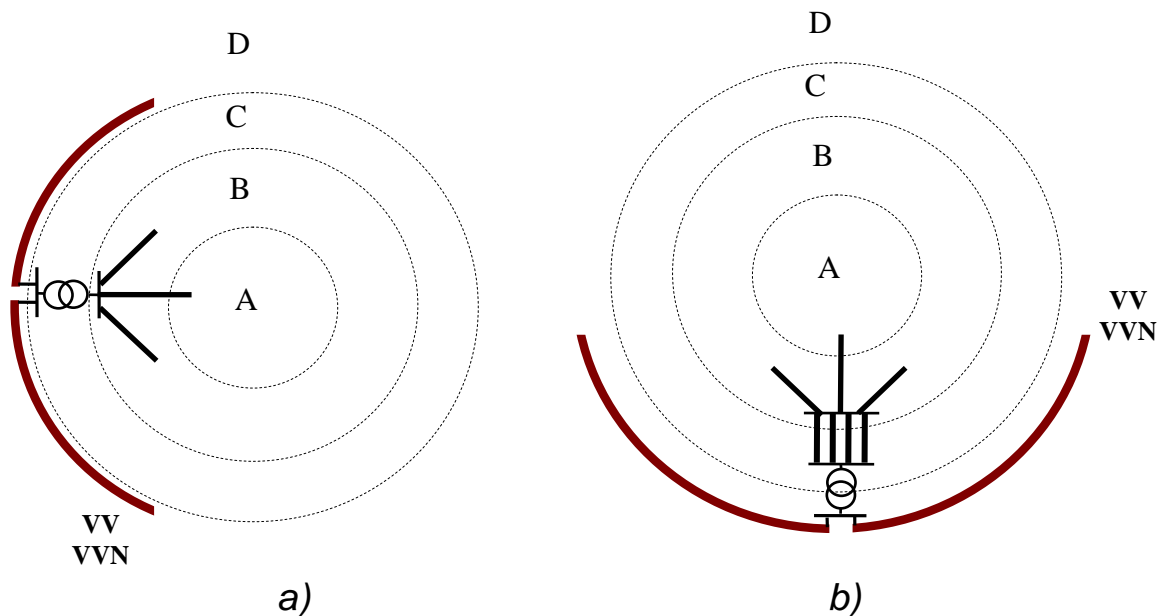
kretao između vrijednosti 6.7% (London) i 7.7% (Hamburg). Tako je specifično opterećenje po stanovniku u Londonu 1985 iznosilo oko 2 kW/st, a oko 2.5 kW/st u Berlinu (dio Zapadnog Berlina), a 2000 god. u Parizu d 3 kW/st, i u Hamburgu čak vrijednost od 4 kW/st.

U analizama možemo računati **sa opterećenje po stanovniku od oko 1 kW/st.**

Lokacija objekata VVN i VN

Manji i srednji gradovi, pa i mnogi veliki gradovi (reda milion i više stanovnika) mogu se obuhvatiti jednim jezgrom, koje u slučaju većih gradova dostiže prečnik od oko 5 km, uz moguću podjelu na (slika II.2):

- centralnu zonu A sa jakim poslovno-trgovačkim dijelom i
- zonu B oko nje, dominantno stambene strukture i pratećih djelatnosti.
- Izvan toga se proteže razređena gradnja (zona C: prigradsko-seoska naselja) i
- šira prostranstva sa zaseocima i vikend naseljima (zona D).



Slika II.2. Zone gradskog konzuma sa lokacijom elemenata napojne mreže VVN

Za zonu A karakteristične su velike vrijednosti površinske gustine opterećenja. Nešto niže vrijednosti imamo u okviru zona B, pri čemu one mogu biti i jako visoke za slučaj visokih gustina gradnje i stanovanja.

Značajno niže površinske gustine opterećenja su u zonama C i D.

Tipično napajanje takvih gradova je sa nepotpunim prstenom od jednostrukih ili, još češće dvostrukih nadzemnih vodova (npr. vodovi VVN, konkretno 400 kV vodovi). U realizaciji prstena, kod velikih gradova se mogu imati i prostorna ograničenja npr. zbog prisustva civilnih i vojnih aerodroma i sl.

Vodovi VVN prolaze obično negdje između zona C i D.

Transformacije na visoki napon : G TS VVN/VN, konkretno G TS 400/110 kV, smještaju se po pravilu na ivici gusto naseljene zone B (slika II.2.a).

U dugoročnom planiranju, kakvo bi trebalo da bude i ukupno urbanističko planiranje, treba sagledati u prostornom planu koridore za trase nadzemnih vodova najviših, odnosno visokih napona, kao i lokacije za postrojenja (transformatorsko – razvodna) na ivici gusto naseljenih područja. Radi se o tome da cijene kablovskog prenosa na najvišim naponima mogu biti čak i za red veličine (u smislu desetak puta) veće od onih nadzemnim putem, tako da samo u nužnom slučaju odsustva prostora dolaze u obzir. Slično je i sa transformatorsko-razvodnim postrojenjima najviših napona. Naime, u nedostatku odgovarajućeg prostora na ivici gusto naseljenog područja, kao i zbog eventualne buke koju proizvode transformatori, ide se na udaljšavanje tih postrojenja od gusto naseljenih područja, uz dodatne "teške" nadzemne vodove, (npr. četvorostruke na zajedničkim stubovima sa višestrukim provodnicima) koji završavaju u čistom razvodu (*slika 11.2.b*), kao punktu za otiskivanje vodova (kablovskih) visokog napona u unutar gradsko tkivo. Bolje, ali u datim uslovima znatno skuplje rješenje bilo bi sa primjenom zatvorenih postrojenja najviših napona u SF6 tehnicima.

Vodovi VN od TS VVN/VN odnosno od RP VN idu do samih centara potrošnje i realizuju se u obliku "dubokog uvoda" sa kablovskim vodovima. Ako se mreže VN realizuju u obliku prstena ili poluprstena, vazdušni vodovi VN prolaze negdje kroz zonu B.

U evropskoj praksi unutar zona A i B nalazi se distributivna mreža, tipično kablovska, sem eventualno u perifernim djelovima, koji obično već spadaju u zonu C.

II.2. PRINCIP POUZDANOSTI PRI KONCIPIRANJU EDS

Na izbor koncepcije perspektivnog EDS, značajan uticaj ima i pitanje pouzdanosti (stepena sigurnosti) napajanja potrošača električnom energijom. Već na samom početku planiranja EDS moraju se donijeti odluke:

- Da li treba obezbijediti rezervu u slučaju kvara, i ako treba, da li za jednostruki ili dvostruki kvar na pojedinim naponskim nivoima?

- Kolika su dozvoljena trajanja prekida isporuke električne energije pojedinim kategorijama potrošača ?

Naši propisi ne regulišu ovo pitanje, a ni inostrana praksa tu nije jedinstvena. Ima pokušaja da se problemi pouzdanosti napajanja riješe analiziranjem šteta usljed očekivanog prekida u isporuci električne energije. Taj put je pogodan za EDS, odnosno distributivne mreže koje napajaju velike (direktne) potrošače, kao što su industrijski EDS, odnosno industrijske distributivne mreže u okviru gradskih EDS. Pri tome je široko prihvaćeno gledište da industrijski i drugi potrošači koji nijesu od šireg društvenog interesa, treba sami da snose troškove povećane pouzdanosti napajanja.

Usvajanje (specificiranje) stepena pouzdanosti preko vrednovanja šteta zbog prekida u isporuci električne energije u EDS, odnosno u mrežama koje u osnovi napajaju široku potrošnju (domaćinstva i prateća potrošnja) nije najprikladnija metodologija. Tu je veliki problem sama nemogućnost vrednovanja šteta, jer one ovdje prije svega imaju "socijalni" odnosno "moralni" karakter i u najvećoj mjeri se ne mogu kvantitativno izraziti.

Kod gradskih EDS se kao princip pouzdanosti prema kome se koncipira sistem najčešće usvaja **princip "jednostrukog kvara" (princip "n-1")**.

Prema ovom principu u okviru EDS **treba obezbijediti nesmetano napajanje za slučaj jednostrukog kvara na istom tehničkom modulu istog naponskog nivoa**.

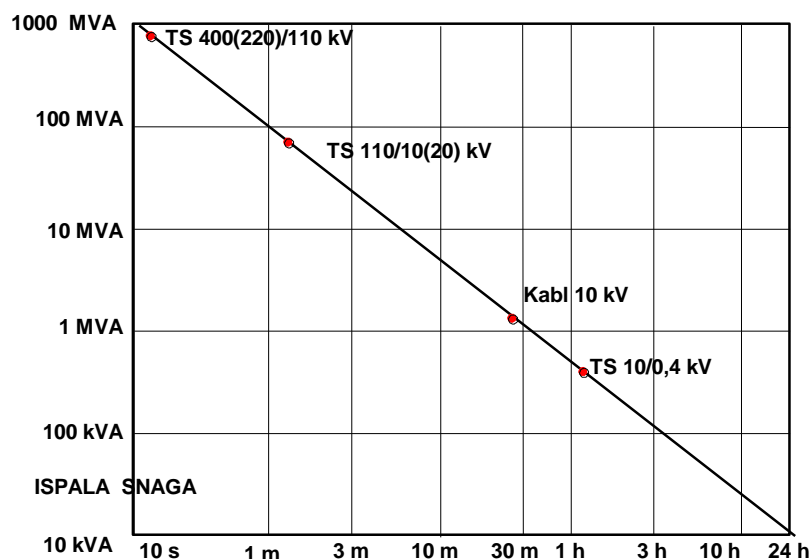
Primijetimo da je time obezbijeljena rezerva za slučaj dvostrukog (višestrukog) simultanog kvara na dva (više) naponska nivoa, a i na više tehničkih modula istog naponskog nivoa.

Tako, dozvoljava se istovremeni kvar na jednom od dva kabla 110 kV koji napaju napojnu TS 110/10 kV i na jednom od dva (više) transformatoru u toj TS.

Takođe, npr. u SN distributivnoj mreži izvedenoj u konfiguraciji otvorenih prstenova neophodno je obezbijediti rezervu za onoliko istovremenih kvarova koliko ima SN prstenova, jer je svaki prsten tehnički moduo za sebe.

Rješenja EDS bazirana na principu obezbjeđenja rezerve za slučaj dvostrukog kvara (princip "n-2") rijetka su. Takvo rješenje imamo u EDS Pariza.

Što se tiče dozvoljenog trajanja prekida isporuke električne energije, najčešće se postupa u skladu sa pravilom "što veća ispala snaga to kraće vrijeme prekida" (*slika II.3*). Tu se, npr. na nivou G TS VVN/VN i nivou napojne mreže VN dozvoljavaju prekidi sekundnog trajanja, na nivou transformacije VN/SN reda minuta, dok je na SN nivou dozvoljeno da prekid traje reda sata.



Slika II.3. Dozvoljeno trajanje prekida

Najčešće rješenja gradskih EDS respektuju "kombinovani princip": princip "n-1" i princip "što veća ispala snaga, to kraće vrijeme prekida".

"Kombinovani princip" pouzdanosti dozvoljava da se npr. kod distributivnih TS primjenjuju TS SN/NN sa jednim transformatorom, prostog i relativno jeftinog tipa, jer

se u slučaju kvara na transformatoru njegova zamjena može izvršiti u vremenu dozvoljenom za taj naponski nivo.

Rješenja sa dvotransformatorskim TS SN/NN koja se srijeću u gradskim EDS često se ne primjenjuju zbog obezbjedjenja rezerve, već zato što je masovna proizvodnja standardnih jedinica po skali 100, 160, 250, 400, 630 i 1000 kVA uslovila da su te jedinice značajno jeftinije nego one npr. iz skale 500, 800 i 1250 kVA. Zbog toga se umjesto npr. 800 i 1250 kVA primjenjuju 2 x 400 i 2 x 630 kVA.

Po "kombinovanom principu" pouzdanosti može se na NN primijeniti radijalna konfiguracija, jer se za dozvoljeno vrijeme prekida na NN nivou (više časova) može izvršiti nalaženje i opravku kvara. Stoga je radijalna NN konfiguracija u kombinaciji sa prstenastom konfiguracijom na SN (**prstenasto napajana radijalna distributivna mreža**) najčešće rješenje u gradskim EDS-ima i može se smatrati klasičnim rješenjem distributivnih mreža gradskih EDS. Pri sve većim površinskim gustinama opterećenja, radijalna NN mreža postaje sve kraća, a ponekad prelazi u "unutrašnje instalacije" objekata.

U gradskim EDS se primjenjuju i sistemi povećanog stepena pouzdanosti.

Tako se posebno izdvajaju potrošači koji zahtijevaju povećanu sigurnost napajanja, npr. ispravljačke stanice za gradsku električnu vuču, vodovod, velike bolnice i sl. To su obično potrošači na srednjem naponu povećane sigurnosti, gdje se ima po pravilu napajanje iz dva "izvora" sa eventualnom lokalnom automatikom za prebacivanje sa jednog na drugo napajanje za slučaj kvara.

Zbog ekonomskih razloga stepen pouzdanosti napajanja seoskih područja je znatno niži. Tu se dozvoljava trajanje prekida u isporuci električne energije u slučaju kvara reda veličine jednog dana, što je obično dovoljno za opravku kvara.

II.3. EDS MALOG GRADA

Gradski EDS je s jedne strane ograničen "izvorima napajanja" (IN), a s druge strane potrošačkim mrežama. Mogući IN su sopstvene elektrane i TS na granici prenos/distribucija (glavne TS).

Parametre gradskih EDS u osnovi određuju konkretni uslovi: veličina grada, lokacija i veličina IN, karakteristike potrošača i dr.

Posmatrajmo konzum malog grada.

Neka je broj stanovnika na posmatranom gradskom konzumu: $N_{st} = 25000$, a ostvareno (planirano) specifično opterećenje po stanovniku (na nivou jednovremenog vršnog opterećenja i sa učešćem cjelokupne potrošnje konzuma - JVO): $P_{vs} = 1,2 kW / st$.

Jednovremeno vršno opterećenje konzuma (JVO) je: $P_v = 30 MW$.

Na nižim naponskim nivoima instalisane snage moraju zadovoljiti vršno opterećenje uvažavajući faktor raznovremenosti između JVO i posmatranog nivoa.

Za nivo distributivnih TS SN/NN to je snaga : $P_{v10/0.4} = f_{rJVO-10/0.4} P_v$,

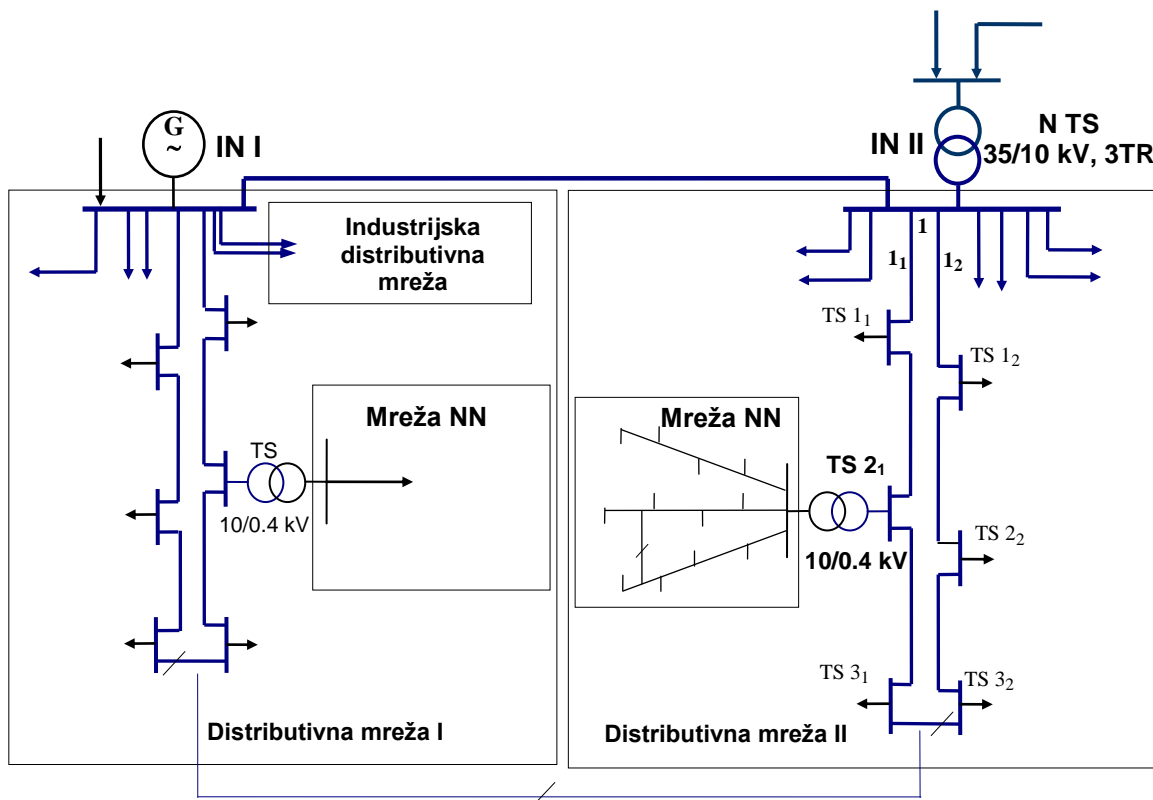
$f_{rJVO-10/0.4}$ je faktor raznovremenosti opterećenja između nivoa JVO i nivoa TS SN/NN.

Sa aspekta pouzdanosti, usvojen je "kombinovani princip" (princip "n-1" kombinovan sa principom "što veća ispala snaga, to kraće vrijeme prekida").

Na svim nivoima moraju se obezbijediti instalisane snage u skladu izračunatim vršnim opterećenjem i usvojenim principom pouzdanosti.

Za mali gradi, vršne snage 30 MW, potrebe potrošača u električnoj snazi i energiji mogu se zadovoljiti unutar osnovnog srednjeg napona (npr. 10 kV) i sa napajanjem iz TS VSN/SN (npr. 35/10 kV). Ovdje su vodovi 35 kV prenosni, a napon 10 kV distributivni. Tada TS 35/10 kV imaju ulogu i glavne i napojne TS.

Principska šema EDS malog grada, prikazana je na slici II.4.



Slika II.4. EDS malog grada

"Izvori" su sopstvena (lokalna) elektrana (IN I) i jedna ili više glavnih - napojnih TS (konkretno jedna - IN II). Generatorski napon sopstvene elektrane je 10, 5 kV. IN II je TS 35/10 kV, koja ovdje preuzima ulogu i glavne i napojne TS.

Uvijek se, ako za to postoje prostorni uslovi, IN međusobno povezuju. Konkretno, veza između izvora IN I i IN II je ostvarena na SN nivou (10 kV), i ona je ujedno i element EES.

IN mogu direktno da napajaju i industrijske pogone smještene u blizini grada.

Od IN, napajaju se odgovarajuć djelovi konzuma preko distributivnih mreža SN (10 kV). Dalje, do samih potrošača električna energija se distribuira preko distributivnih mreža NN (0.4 kV).

Radi povećanja pouzdanosti, na SN nivou se uspostavljaju veze između distributivnih mreža napajanih iz različitih IN (distributivna mreža I i distributivna mreža II). One mogu da obezbjeđuju rezervno napajanje u slučaju ispada jednog IN, odnosno njihovih pojedinih jedinica.

SN mreža se najčešće realizuje kao prstenasta u otvorenom pogonu. U normalnom pogonu, određeni broj TS SN/NN napaja se preko jednog poluprstena, a određeni preko drugog poluprstena istog SN prstena.

U slučaju kvara, npr. kratak spoj na glavnoj napojnoj dionici poluprstena 1_1 (slikall.4), dionica u kvaru (dionica 1_1 -TS 1_1 na slici) se isključuje, a sve TS SN/NN prebacuju na ispravni poluprsten 1_2 .

Pri kvaru, reagovanje zaštite i manipulacije prebacivanja na rezervno napajanje ostvaruju se u koracima:

- Automatsko djelovanje zaštite – isključenje prekidača poluprstena na čijoj dionici je došlo do kvara (prekidač poluprstena 1_1)
- Pronalaženje mjesta kvara i isključenje dionice u kvaru – isključenje rastavljača na krajevima dionice u kvaru (dionica 1_1 -TS 1_1)
- Uključenje rastavljača snage koji povezuje poluprstenove (poluprstena 1_1 i poluprstena 1_2). Svi potrošači, onosno sve pripadne TS SN/NN se napajaju preko poluprstena 1_2 .

Nakon otklanjanja kvara:

- Iključuje se rastavljač snage koji povezuje poluprstenove (poluprstena 1_1 i poluprstena 1_2).
- Uključuju se rastavljači na krajevima opravljene dionice.
- Uključuje se prekidača poluprstena 1_1 i uspostavlja normalni pogon.

Mada se u gradskim uslovima sa većim površinskim gustinama opterećenja teži unifikaciji opreme (jedinstven presjek kablova, određeni tip i skale naznačenih snaga TR i dr.), snage TS 10/0.4 kV i presjeci kablova se u principu mogu razlikovati, zavisno od vršnih opterećenja na pojedinim lokalitetima i značaja, tj. kategorije potrošača.

Prstenasta konfiguracija sa jednotransformatorskim TS SN/NN zadovoljava usvojeni "kombinovani princip" pouzdanosti.

Za potrošače koji zahtijevaju povećani stepen sigurnosti napajanja, tzv. potrošači prve kategorije, a koji su povezani na SN mrežu prstenaste konfiguracije, obezbjeđuje se i rezerva u TS SN/NN, a često i na niskom naponu, npr. dvostruko napajanje.

Industrijski pogoni, locirani unutar samog konzuma, napajaju se ili preko posebnih SN izvoda (dvostruko napajanje) ili preko SN mreže prstenaste konfiguracije, ali preko posebnih TS SN/NN u okviru kojih obično postoji i rezerva u transformatorima snage.

NN mreža se najčešće realizuje kao radijalna, sa mogućnošću prespajanja na druge - susjedne NN vodove, pri čemu se prespajanje obično obavlja ručno.

U slučaju posebno značajnih potrošača (npr. ispravljačke stanice za gradsku električnu vuču, vodovod, velike bolnice i sl. kao industrijski pogoni koji sami mogu da finansiraju sistem povećane pouzdanosti), primjenjuje se sistem napajanja povećane pouzdanosti i na SN nivou i u TS SN/NN i na nivou NN mreže (npr. dvostrano napajanje TS SN/NN, TS SN/NN sa obezbijeđenom rezervom u slučaju ispada jednog transformatora i dvostruko napajanje na NN, uz odgovarajuće - automatsko rješenje uključenja rezerve na svim nivoima).

Razmatrani EDS malog grada karakteriše postojanje mreža samo dva naponska nivoa. Kako je mreža 0.4 kV obavezna u svim rješenjima EDS, a ako se EDS karakterišu po broju mreža napona iznad 1000 V, ovo je EDS sa jednim naponskim nivoom.

II.4. EDS GRADA SREDNJE VELIČINE

Posmatrajmo konzum grada srednje veličine.

Neka je broj stanovnika na posmatranom gradskom konzumu: $N_{st} = 120000$, a ostvareno (planirano) specifično opterećenje po stanovniku (na nivou jednovremenog vršnog opterećenja i sa učešćem cjelokupne potrošnje konzuma - JVO): $P_{vs} = 1,3kW / st$.

Tada je jednovremeno vršno opterećenje konzuma (JVO): $P_v = 156MW$.

Na nižim naponskim nivoima instalisane snage moraju zadovoljiti vršno opterećenje uvažavajući faktor raznovremenosti između JVO i posmatranog nivoa.

Za nivo distributivnih TS SN/NN to je snaga: $P_{v10/0.4} = f_{rJVO-10/0.4} P_v$.

$f_{rJVO-10/0.4}$ je faktor raznovremenosti između nivoa JVO i nivoa TS SN/NN.

Sa aspekta pouzdanosti, usvojen je "kombinovani princip" (princip "n-1" kombinovan sa principom "što veća ispala snaga, to kraće vrijeme prekida").

Na svim nivoima moraju se obezbijediti instalisane snage u skladu izračunatim vršnim opterećenjem i usvojenim principom pouzdanosti.

Principska šema EDS srednjeg grada, prikazana je na slici II.5.

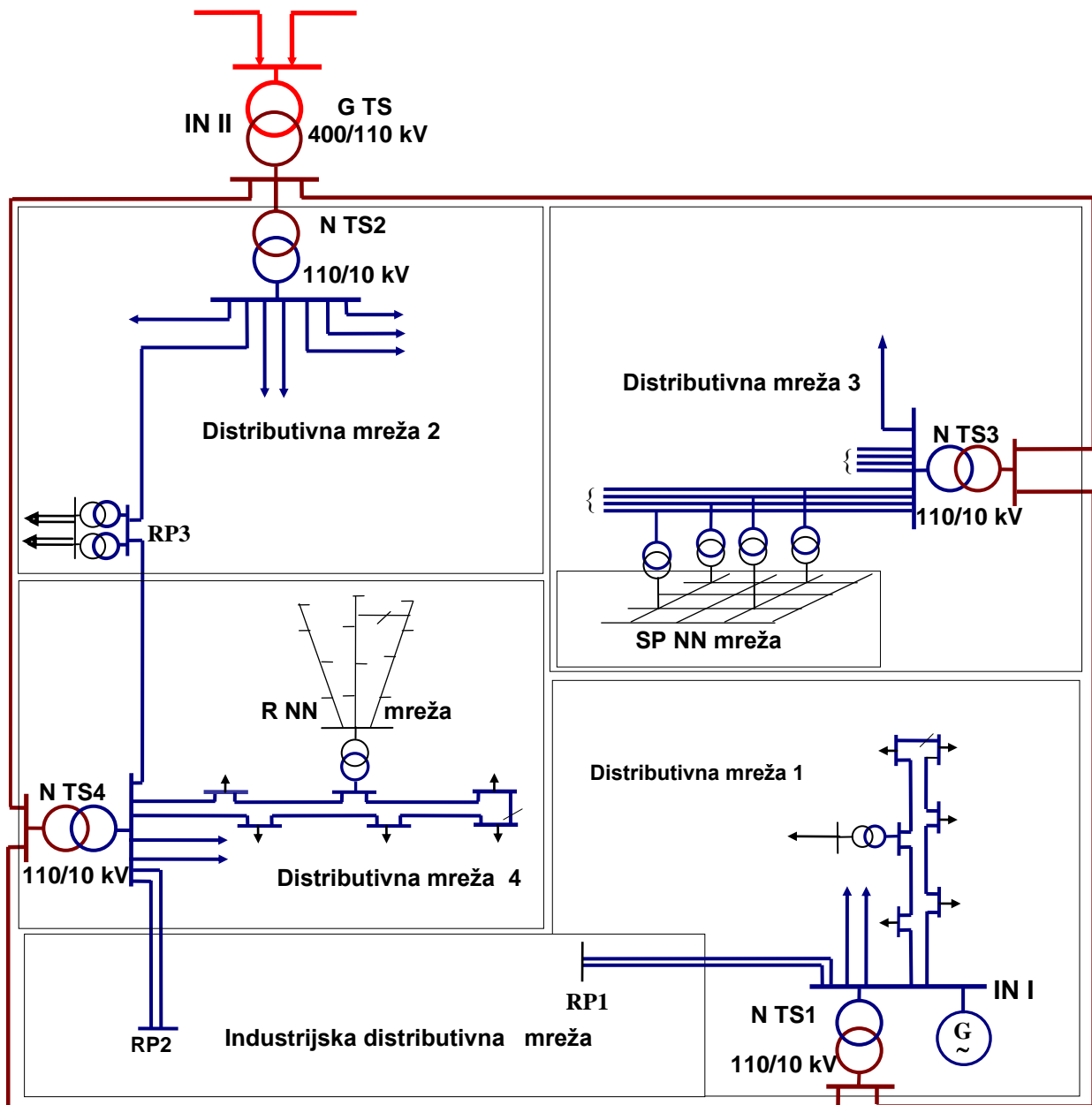
Za napajanje posmatranog konzuma obezbijeđeni su "izvori":

1. Lokalna elektrana IN I, izgrađena u blizini grada, a u sklopu koje u ovom slučaju imamo i TS1 za povišenje napona i povezivanje ove elektrane u VN prsten napojne mreže EDS, odnosno povezivanje sa EES;

2. Glavna TS VVN/VN, označena kao IN II, a koja se napaja iz EES, preko prenosne mreže sistema.

Ukoliko se razlikuju naponi prenosne mreže EES i napojne mreže EDS, npr. prenosna mreža je napona 400 kV a napojna mreža EDS je napona 110 kV, tada u okviru IN II imamo dvije transformacije: glavnu TS VVN/VN (G TS 400/110 kV) i

napojnu TS2 VN/SN (N TS2 110/10 kV). Od napojne TS2 dalje ide distributivna mreža SN (10 kV) za napajanje potrošača lociranih u području ove TS VN/SN.



Slika II.5. EDS grada srednje veličine

"Izvori" se međusobno povezuju preko napojne mreže VN (mreža 110 kV), konkretno realizovane u obliku prstena napajanog u dvije tačkama. U prsten se, ako to zahtijeva veličina snage koju angažuju potrošači konzuma, uključuju i druge napojne TS, konkretno su uključene N TS3 110/10 kV i N TS4 110/10 kV.

Napojna mreža se može realizovati i u nekoj drugoj konfiguraciji, npr. u kombinaciji sa "dubokim uvidom", kao poluprsten i sl.

Preko prstenaste napojne mreže VN, ostvaruje se ne samo napajanje grada već se pomoću nje takođe ostvaruje paralelan rad gradske elektrane INI sa EES, što znači da se ovaj prsten ujedno pojavljuje i kao element EES. Parametri i režimi rada

te mreže određuju se zajedničkim uslovima, tj. s jedne strane razmjenom snage među gradskom elektranom i EES, a s druge strane uslovima napajanja gradskih napojnih TS VN/SN.

Karakteristična konfiguracija za distributivnu mrežu SN je i ovdje prstenasta konfiguracija otvorenog pogona, a za mrežu NN radijalna konfiguracija sa mogućnošću prespajanja određenih NN kablova na susjedne NN izvode. To je **prstenasto napajana radijalna distributivna mreža**, koja je karakteristično (klasično) rješenje za distributivne mreže gradskih EDS-a (distributivna mreža 1 i distributivna mreža 2 na *slici II.5*).

Sa težnjom ostvarenja veće pouzdanosti napajanja, u gradskim EDS sa većom površinskom gustom opterećenja, na nivou NN su se razvile **složenopetljaste niskonaponske mreže** (SP NN mreže), koje predstavljaju gusto povezanu (učvorenu) NN mrežu (distributivna mreža 3 na *slici II.5*).

Učvorena SP NN mreža se napaja preko jednotransformatorskih TS SN/NN povezanih na nekoliko SN izvoda. SN mreža se najčešće realizuje kao radijalna, ili pak kao prstenasta u otvorenom pogonu, ako se želi obezbijediti odgovarajuća pouzdanost i za direktne potrošače priključene na SN mrežu. Za distributivnu mrežu sa radijalnom SN konfiguracijom i SP NN konfiguracijom, adekvatan naziv bio bi: višestruko radijalno napajana SP NN mreža. Ako je SN mreža prstenaste konfiguracije to je: prstenasto napajana SP NN mreža.

Da li će se u okviru EDS, ili pak na dijelu EDS, za napajanje djelova konzuma sa povećanom površinskom gustom opterećenja, za distributivnu mrežu primjeniti npr. klasično rješenje (prstenasto napajana radijalna mreža) ili višestruko radijalno napajana SP NN mreža, ili pak neko treće rješenje, odluku treba donijeti na osnovu adekvatnih tehničko-ekonomskih analiza, odnosno na osnovu savremenih metoda optimizacije u EDS.

U sklopu distributivne mreže SN se mogu pojaviti i elementi, odnosno komponente kao što su napajani vodovi (obično dvostruki), tzv. fideri, sa razvodnim postrojenjem RP, čije se prenosne snage nalaze u dijapazonu (3 - 10) MVA. Preko ovih elemenata, najčešće se napajaju industrijski pogoni smješteni na teritoriji grada. Na *slici I.5* to su napojni vodovi sa razvodnim postrojenjima RP₁ i RP₂. Takođe se preko RP mogu napajati važniji komunalni objekti kao što je vodovod. Ovdje se zbog važnosti potrošača za cjelokupni život grada RP napaja npr. dvostrano, što znači iz dvije susjedne napojne TS VN/SN (RP₃ sa *slici II.5*).

EDS na *slici II.5*, po broju mreža napona iznad 1000 V, spada u sistem sa dva naponska nivoa.

III. KONFIGURACIJE MREŽA EDS

Konfiguracije (šeme) električnih mreža treba da, uz najmanje troškove, obezbijede neophodnu pouzdanost napajanja potrošača električnom energijom, jednostavnost i sigurnost u eksploataciji, mogućnost daljeg proširenja mreže, priključenje novih potrošača i dr.

III.1. FAKTOR REZERVE, FAKTOR ISKORIŠENJA I FAKTOR PRIVREMENOG PREOPTEREĆENJA

Faktori koji kvantitativno iskazuju karakteristike pojedinih konfiguracija mreža su faktor rezerve i faktor iskorišćenja.

Faktor rezerve (r)

Faktor rezerve se definiše kao odnos opterećenja (jednog elementa) u slučaju rezervnog napajanja (O_r), i opterećenja u normalnom pogonu (O_n):

$$r = \frac{O_r}{O_n} . \quad (\text{III.1})$$

Opterećenje uobičajeno izražava snagu, i to vršnu snagu: $O \equiv P_v [kW]$ ili $P_v [MW]$.

Rezervno napajanje nastaje u slučaju ispada jednog ili više elemenata, zavisno od usvojenog principa sigurnosti pri koncipiranju mreže.

Ovaj režim traje do otklanjanja kvara, odnosno do ponovnog uspostavljanja normalnog pogona.

Ako je sistem koncipiran po principu " $n-1$ ", rezervno napajanje nastaje pri ispadu jednog od elemenata posmatranog tehničkog modula.

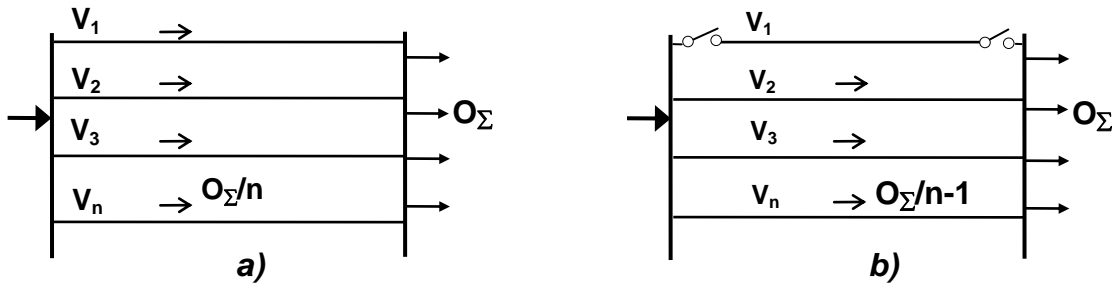
Ako je pak sistem koncipiran po principu " $n-2$ ", što je ređe rješenje u okviru gradskih EDS, kao rezervno napajanje se posmatra posthavarijski režim nakon jednovremenog ispada dva elementa jednog tehničkog modula.

Analizirajmo vrijednosti faktora rezerve preko jednog opšteg primjera.

Potrošačko područje ukupnog opterećenja O_Σ , napaja se iz napojne TS preko n elemenata (vodova) istih karakteristika (slika III.1).

Koliki je faktor rezerve za ovaj tehnički moduo od n paralelnih vodove za :

- Sistem koncipiran po principu " $n-1$ " i za broj vodova: $n=2$, $n=3$ i $n=4$?
- Sistem koncipiran po principu " $n-2$ " i za broj vodova $n=3$ i $n=6$?



Slika III.1

U normalnom pogonu (slika III.1a) ukupno opterećenje O_{Σ} se raspoređuje na n elemenata, pa je opterećenje jednog elementa u normalnom pogonu : $O_n = \frac{O_{\Sigma}}{n}$.

a) Sistem koncipiran po principu " $n - 1$ ":

Ako dođe do kvara na jednom od elemenata (npr. kvar na vodu V_1 – slika III.1b) i do njegovog isključenja iz pogona, ukupno opterećenje O_{Σ} se raspoređuje na ispravne elemente koji su ostali u pogonu, dakle na $(n - 1)$ element.

Opterećenje jednog elementa u ovom posthvarijskom režimu, koji predstavlja režim rezervnog napajanja i koji traje sve do otklanjanja kvara na elementu V_1 i ponovnog uspostavljanja normalnog pogona je: $O_r = \frac{O_{\Sigma}}{n - 1}$.

Po definiciji, faktor rezerve je: $r = \frac{O_r}{O_n}$,

odnosno:

$$r = \frac{n}{n - 1}.$$

Za $n = 2$, faktor rezerve je: $r = 2$.

Za $n = 3$, faktor rezerve je: $r = 1,5$.

Za $n = 4$, faktor rezerve je: $r = 1,3$.

- Kada je faktor rezerve $r = 2$, opterećenje elementa u normalnom pogonu je 0.5 dozvoljenog (nazivnog ili naznačenog), odnosno elementi su iskorišćeni sa svega 50%. Time se obezbjeđuje i u posthvarijskom, odnosno rezervnom pogonu normalno napajanje potrošača uz nazivno opterećenje elemenata, dakle bez preopterećenja.

- Ako je faktor rezerve $r = 1.3$, opterećenje elementa u normalnom pogonu je 0.77 nazivnog (dozvoljenog), odnosno elementi su iskorišćeni sa 77%.

Kako posthvarijski režimi traju relativno kratko, do otklanjanja kvara, te kako je vjerovatnoća da se taj režim poklopi sa režimom vršnog opterećenja (prema kojem su

računata opterećenja) veoma mala, najčešće se u rezervnom pogonu dozvoljava izvjesno preopterećenje elemenata, a koliko zavisi od niza faktora (vrste i tipa elementa, klimatskih uslova i dr.).

b) Sistem koncipiran po principu " $n - 2$ ":

Ako dođe do istovremenog kvara na dva elementa (npr. kvar na vodu V_1 i vodu V_2) i do njihovog isključenja iz pogona, ukupno opterećenje O_Σ se raspoređuje na ispravne elemente koji su ostali u pogonu, dakle na $n - 2$ elementa.

Opterećenje jednog elementa u ovom posthavarijskom režimu, koji predstavlja režim rezervnog napajanja i koji traje sve do otklanjanja kvarova na elemenima V_1 i V_1

i do ponovnog uspostavljanja normalnog pogona je: $O_r = \frac{O_\Sigma}{n - 2}$.

Faktor rezerve je: $r = \frac{n}{n - 2}$.

Za $n = 3$, faktor rezerve je: $r = 3$.

Za $n = 6$, faktor rezerve je: $r = 1,5$.

Rješenje sa $n = 6$ i $r = 1,5$ imamo u EDS Pariza.

III.1.2 Faktor privremenog preopterećenja (π)

Faktor privremenog preopterećenja se definiše kao odnos privremenog opterećenja (O_p) i nazivnog (naznačenog ili nominalnog - O_{naz}):

$$\pi = \frac{O_p}{O_{naz}}, \quad (III.2)$$

O_p je maksimalno opterećenje koje se može privremeno dozvoliti u posthavarijskim režimima, tj. pri rezervnom pogonu i ustvari predstavlja dozvoljeno preopterećenje za posmatrani element.

O_{naz} je trajno dozvoljeno opterećenje za koje je element projektovan. Za ovo opterećenje uobičajeni su termini nazivno opterećenje (za vodove), naznačeno opterećenje (za ostalu opremu: transformatore, generatore, ...) ili nominalno opterećenje (ranije u upotrebi za sve elemente).

Vrijednosti nazivnih, odnosno naznačenih opterećenja za pojedine elemente mogu se naći u odgovarajućim priručnicima, odnosno katalogima proizvođača elemenata i one se odnose na neke normalne - nominalne uslove eksploatacije. Ako elementi rade u specifičnim, različitim od nominalnih, uslovima, npr. povišena temperatura ambijenta ili više kablova položenih u isti rov i sl., vrijednosti ovih opterećenja treba korigovati.

Vrijednosti privremenog opterećenja, odnosno dozvoljenog preopterećenja su različite za pojedine elemente i zavise od niza uslova. Opšte smjernice upućuju na sljedeće vrijednosti:

- Za vazdušne vodove dozvoljeno preopterećenje ima visoku vrijednost, npr. i do dvostruke vrijednosti u odnosu na nazivno opterećenje u uslovima niskih temperatura ambijenta. Tada je: $\pi_{VV} = 2$.
- Za kablove je zbog opasnosti po izloaciju (problem isušivanja tla i sl.) privremeno preopterećenje znatno niže, npr.: $\pi_{KV} = 1,2$.
- Kod transformatora se može ići na nešto veće vrijednosti opterećenja u posthavarijskom režimu, odnosno u rezervnom pogonu: i do 40% iznad naznačenog opterećenja, pa i više, kako se to može naći u ruskoj literaturi. Opredjeljenje za veće vrijednosti dozvoljenog preopterećenja TR-a podrazumijeva adekvatne analize vrijednosti opterećenja prije, tokom i nakon režima preopterećenja, analize uticaja temperature ambijenta, analize dijagrama opterećenja i pojave vršnog opterećenja i dr.

U našim uslovima, za transformatore se može računati sa: $\pi_{TR} = 1,2$

Problem utvrđivanja vrijednosti faktora π za transformatore je posebno aktuelan, s obzirom na značajne uštede u instalisanim snagama ako se u rijetkim havarijskim režima dozvole izvjesno veća preopterećenja.

III.1.2 Faktor iskorišćenja (i)

Faktor iskorišćenja se definiše kao odnos opterećenja u normalnom pogonu (O_n) i nazivnog (naznačenog ili nominalnog - O_{naz}):

$$i = \frac{O_n}{O_{naz}} \quad (III.3)$$

Kako je $O_p = O_r$, iz (II.1) i (II.2) slijedi:

$$i = \frac{\pi}{r} \quad (III.4)$$

Primjer

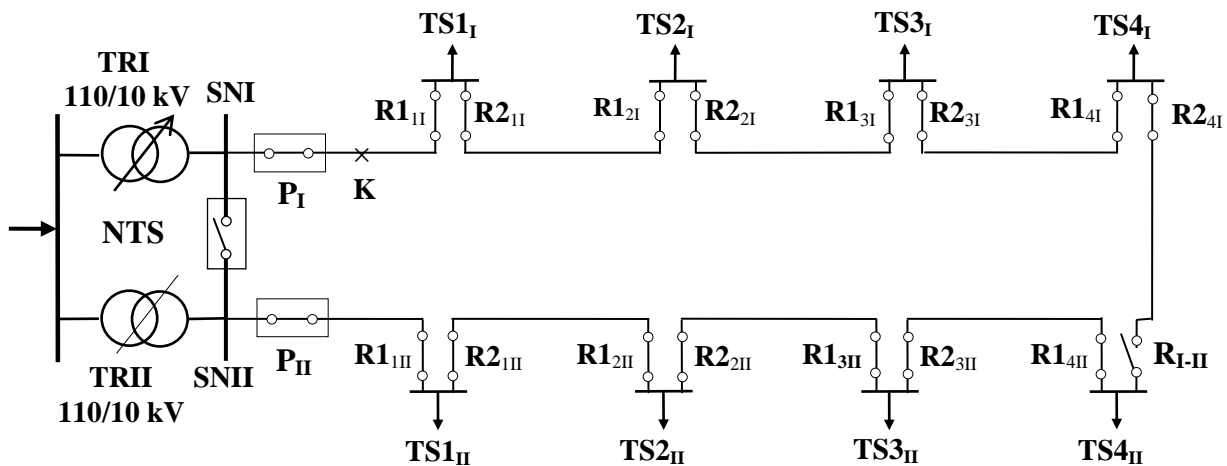
Analizirajmo vrijednosti faktora iskorišćenja za prstenastu konfiguraciju SN distributivne mreže gradskog EDS-a.

Opis prstenaste konfiguracije

Napojna TS sa dva TR 110/10 kV, napaja distributivnu mrežu 10 kV realizovanu u prstenastoj konfiguraciji (slika III.2), sa kablovskim vodovima.

Na nivou napojne TS jedan tehnički moduo čine dva TR 110/10 kV, a na 10 kV nivou tehnički moduo čine 10 kV prstenovi sa dva poluprstena.

Po principu pouzdanosti " $n - 1$ " dozvoljen je ispad jednog poluprstena, istovremeno na više različitih prstenova 10 kV mreže. Princip "što veća ispala snaga, to kraće vrijeme prekida" dozvoljava trajanje prekida oko 20 minuta. Za to vrijeme mogu se izvršiti sve potrebne manipulacije za prebacivanje opterećenja na rezervno napajanje, čime se izbjegava skupa zaštita za automatsko uključenje rezerve.



Slika III.2. Prstenasta konfiguracija 10 kV distributivne mreže

U normalnom režimu, prsten radi u otvorenom pogonu, konkretno sa otvorenim rastavljačem snage R_{I-II} . Ovaj rastavljač snage postavlja se u TS SN/NN koja je najbliže "električnoj sredini" prstena, odnosno tački gdje struja prolazi kroz nulu u zatvorenom pogonu prstena.

Poluprsteni se napajaju sa različitih sekcija 10 kV sabirnica N TS. Kod napojnih TS 110/10 kV, različite sekcije se često oslanjaju na dva odvojena namotaja tronamotajnog TR 110/10 kV.

U slučaju kvara na nekoj od dionica poluprstena, potrošači tog poluprstena ostaju bez napajanja (djelovanjem prekidača napojne dionice poluprstena u kvaru) u vremenu potrebnom za: otkrivanje kvara, isključenje dionice u kvaru i prebacivanje na rezervno napajanje.

Svaka dionica oba poluprstena se ručno može izdvojiti. Na krajevima svake dionice su postavljeni rastavljači (princip ulaz-izlaz sa rastavljačima), sem na glavnim napojnim dionicama (I-TR₁ i II-TR₁), odnosno na izvodima iz N TS VN/SN gdje su postavljeni prekidači (P_I i P_{II}) koji automatski isključuju u slučaju kvara na odgovarajućem poluprstenu.

Konkretno je kvar nastao na mjestu K poluprstena I (glavna napojna dionica I-TR₁). Automatski isključuje prekidač P_I i bez napajanja ostaju TR₁, TR₂, TR₃ i TR₄. Nakon pronalaska kvara izdvaja - isključuje se dionica I-TR₁ (rastavlja se rastavljač R_{1I}), a potom zatvara rastavljač snage R_{I-II} i svi potrošači se napajaju iz poluprstena II.

Ovakvo napajanje - posthavarijski režim, odnosno rezervni pogon traje sve do opravke dionice u kvaru, nakon čega prsten ponovo radi u normalnom režimu.

U rezervnom pogonu, koji ima karakter privremenog pogona, dozvoljava se izvjesno preopterećenje "zdravih" elemenata, odnosno dionica. U razmatranom slučaju 10 kV mreža je kablovska, pa se može računati sa: $\pi = 1,2$.

$$\text{Faktor rezerve je: } r = \frac{n}{n-1} = \frac{2}{2-1} = 2.$$

$$\text{Faktor iskorišćenja je: } i = \frac{\pi}{r} = \frac{1.2}{2} = 0.6 .$$

Iako prstenasta konfiguracija ima relativno slabo iskorišćenje $i = 0,6$, što znači da se u normalnom pogonu "dozvoljava" vršno opterećenje jednako 60% nazivnog opterećenja, ovo je veoma česta konfiguracija u SN distributivnim mrežama gradskih EDS-a.

Napomena:

U okviru prstenaste konfiguracije, najuže grlo su glavne napojne dionice poluprstenova, koje sve izlaze iz napojne TS VN/SN. Konkretno od 10 kV sabirnica napojne TS, idu paralelno na izvjesnoj manjoj dužini svi 10 kV izvodi (poluprstenovi). Nazivno opterećenje se za ovakve uslove paralelnog vođenja više kablova mora smanjiti, više što je broj paralelnih kablova veći. Ako se ovo ima u vidu, zaključuje se da koeficijent iskorišćenja $i=0.6$ (određen prema nazivnom opterećenju samostalno položenog kabla) i nije tako mali, i da omogućava realizaciju prstena bez "pojačanja" glavnih napojnih dionica, odnosno sa jedinstvenim presjekom za sve dionice prstena. Ako bi se zbog rješenja problema raspleta kablova, konkretno 10 kV kablova, iz napojne TS primjenilo rješenje sa većim presjekom kablova na dijelu izlaza iz napojne TS (povećani presjeci glavnih napojnih dionica u odnosu na ostale dionice prstenova), možemo zaista govoriti o maloj vrijednosti faktora iskorišćen, koja će svakako povući za sobom negativne ekonomske efekte.

U praksi se ova slaba iskorišćenja često pokazuju i kao veoma dobra rezerva za rast opterećenja, kako onaj koji nastaje usljed planiranog perspektivnog porasta opterećenja tako i onaj nastao npr. neplaniranim uključanjem većeg(ih) potrošača, kad se mora napustiti usvojeni princip pouzdanosti, konkretno princip "n-1".

III.2 Tipične konfiguracije - sistemi napojnih mreža

U dosadašnjoj praksi gradskih EDS uočena su tri pravca realizacije napojnih mreža:

- petljaste mreže zatvorenog pogona,
- petljaste mreže otvorenog pogona i
- "duboki uvod".

Principska rješenja napojnih mreža EDS-a velikih gradova i metropola možemo svrstati u nekoliko grupa- sistema.

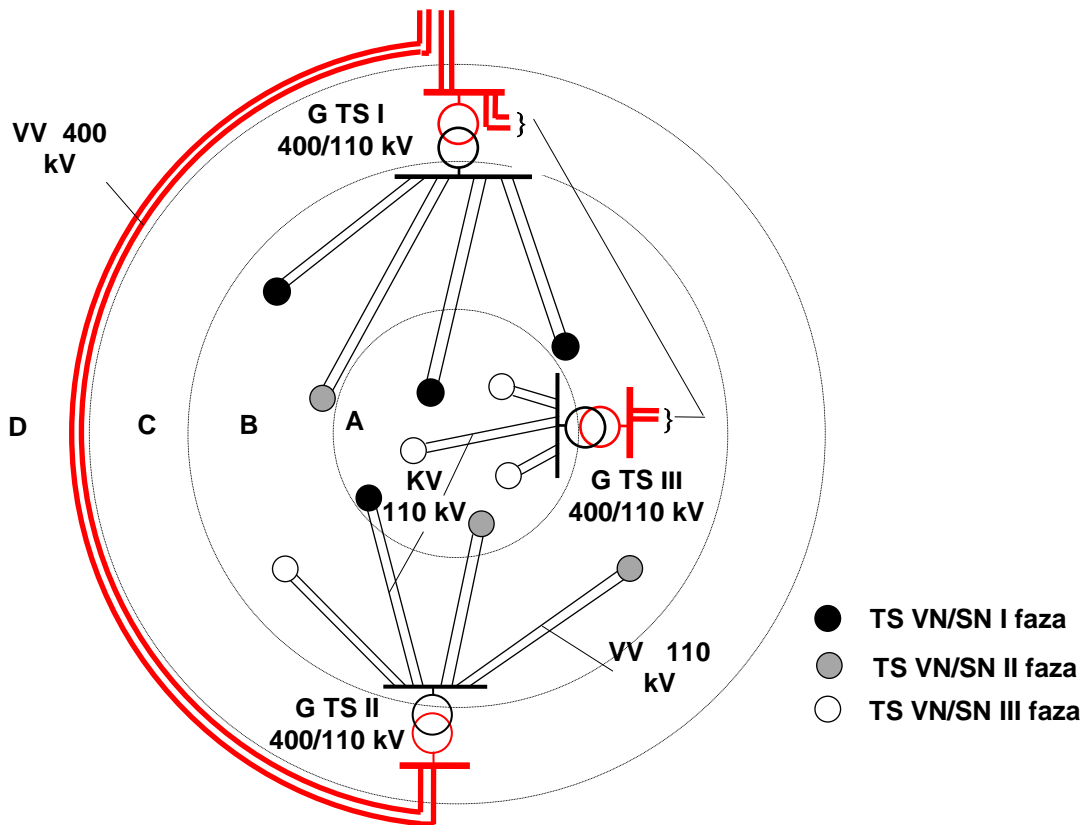
Sistem I (slika III.4)

"Izvori" su glavna TSI VVN/VN (npr. G TSI sa 4 TR 400/110 kV) i glavna TSII VVN/VN (npr. G TSII sa 3 TR 400/110 kV).

Napajanje glavnih TSI i TSII ostvaruje se preko dvostrukih nadzemnih vodova VVN (400 kV vodova), pri čemu je njihovo napajanje nezavisno. Vodovi VVN prolaze negdje između zona C i D, približavajući se zoni B na mjestu lokacija G TS.

Za slučaj naglog porasta opterećenja u centralnom dijelu konzuma (zona A), predviđena je izgradnja još jedne glavne TS VVN/VN (npr. G TSIII sa 3 TR 400/110 kV). Ova G TSIII se smješta što bliže centru potrošnje zbog čega se realizuje u specijalnoj, npr. SF₆ izvedbi. Napajanje G TSIII je od G TSII, a preko dvostrukih

nadzemnih vodova, ako je za njih obezbijeđen koridor ili pak preko kablovskog "dubokog uvoda". Ovo drugo rješenje je znatno skuplje, ali nekad i jedino moguće.



Slika III.3. Napojna mreža EDS - Sistem I

Glavne TS VVN/VN (G TSI, G TSII i G TSIII 400/110 kV) su **autonomne TS** koje same sebi obezbjeđuju rezervu (4 ili 3 TR 400/110 kV u TS, pri čemu pri ispadu jednog od TR napajanje preuzimaju preostali u pogonu TR).

Od glavnih TS VVN/VN polazi visokonaponska napojna mreža (110 kV mreža), koja se realizuje u obliku "dubokog uvoda" sa dvostrukim vodovima koji napajaju napojne TS VN/SN (N TS 110/10 kV). U centralnom dijelu grada (zona A) vodovi "dubokog uvoda" su u osnovi kablovski, dok su u perifernim djelovima (zone C i D, i eventualno zona B ako su obezbijeđeni potrebni koridori za nadzemne vodove) to obično dvostruki nadzemni vodovi.

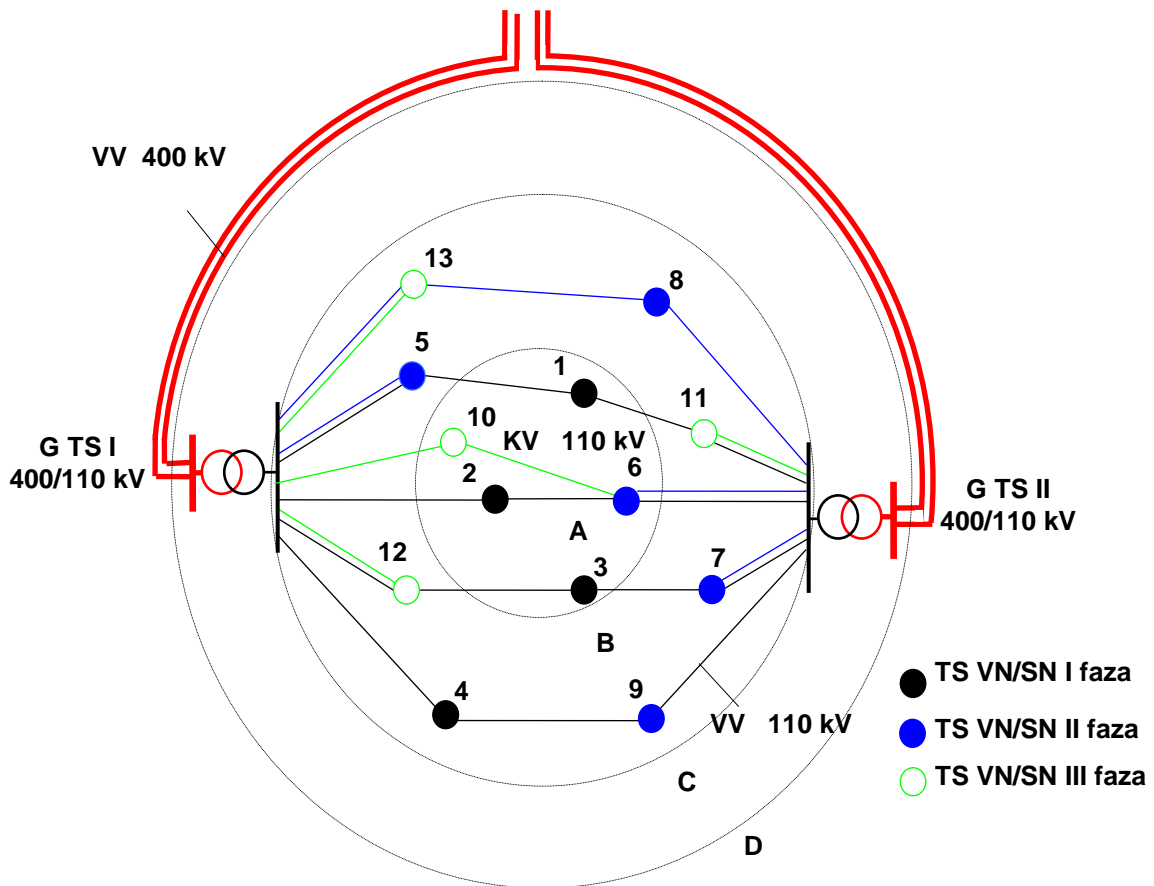
Napojne TS VN/SN (N TS 110/10 kV) mogu biti tipa autonomnih ili korespodentnih TS, zavisno od konfiguracije mreže SN. Realizacija TS VN/SN kao korespodentnih TS zahtijeva povezanu distributivnu mrežu SN, npr. primjena SN konfiguracije sa dvostranim napajanjem.

Sistem II (slika III.4)

U napornoj mreži EDS realizovanoj prema *slici III.4*, glavne TSI i TSII (npr. G TSI sa 6 TR 400/110 kV i G TSII sa 6 TR 400/110 kV) se napajaju iz prenosne mreže

EES, preko dvostrukih nadzemnih vodova. Ovi vodovi prolaze negdje između zona C i D, približavajući se zoni B na dijelu gdje su smještene (na ivici zone B) G TSI i G TSII.

Napojna mreža VN se realizuje kao povezana, konkretno sa povezanim 110 kV vodovima koji se oslanjaju na G TSI i G TSII 400/110 kV.



Slika III.4. Napojna mreža EDS - Sistem II

Da bi se obezbijedio princip "jednostrukog kvara", kod napojne mreže VN pojačavaju se, postavljanjem dva voda (pojedinačno dimenzionisana na puno opterećenje jedne TS 110/10 kV), samo pojedine dionice VN vodova. Na koji način, popratice se to kroz kratku analizu izgradnje N TS 110/10 kV i napojnih dionica 110 kV za sistem na slici III.4, a koja se realizuje u tri faze:

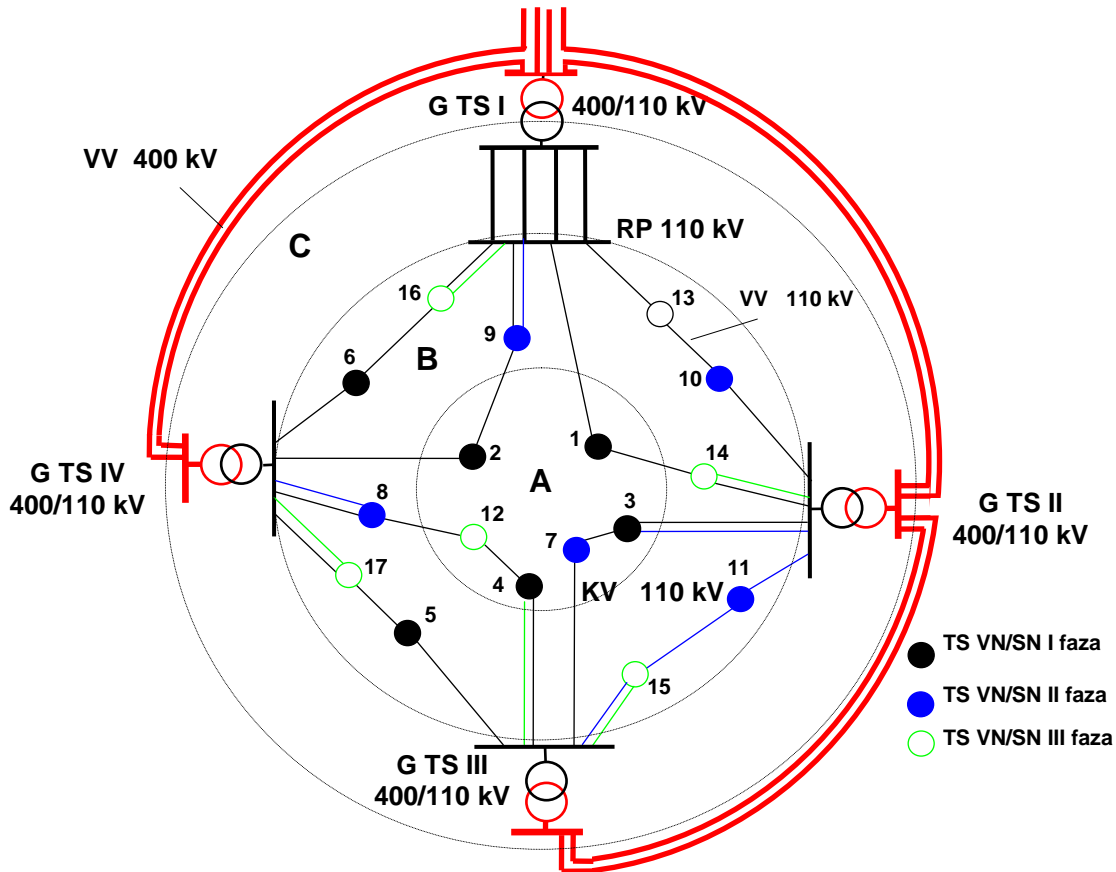
- U I fazi gradi se određeni broj napojnih TS 110/10 kV, konkretno TS1, TS2, TS3 i TS4. Sve TS VN/SN se napajaju dvostrano iz G TSI i G TSII, sa jednostrukim vodovima dimenzionisanim za puno (maksimalni režim) opterećenje jedne TS.

- Zbog porasta opterećenja, u II fazi se grade nove napojne TS 110/10 kV, konkretno TS5, TS6 i TS7. Istovremeno se, za zadovoljenje principa "n-1", pojačavaju napojne 110 kV dionice TSI-TS5, TSII-TS6 i TSII-TS7, postavljanjem još jednog kabla.

- U ovoj fazi se grade i TS8 i TS9, koje se takođe napajaju dvostrano iz G TSI i G TSII. Pojačanje dionica nije neophono ako su vodovi nadzemni, uz pretpostavku da se mogu u havarijskom režimu preopteretiti do vrijednosti $\pi_{VV} = 2$.

- U III fazi grade se, zbog povećanja opterećenja konzuma, nove napojne TS 110/10 kV, konkretno TS10, TS11, TS12 i TS13, uz istovremeno pojačavanje, postavljanjem još jednog kabla na napojnim 110 kV dionicama TSII-TS11, TSI-TS12, TSI-TS13.

Sistem III (slika III.5)



Slika III.5. Napojna mreža EDS - Sistem III

U sistemu sa slike III.5, "izvori" su četiri glavne TS VVN/VN, locirane sve, sem G TSI 400/110 kV, na ivici zone B.

Zbog prostornih ograničenja ili štetnog uticaja na okolinu (buka koju izazivaju TR) nekad se glavne TS VVN/VN, konkretno G TSI 400/110 kV, ne može približiti centru potrošnje, kako bi to sa tehničko-ekonomskog aspekta bilo najpovoljnije. Tada se jakim, npr. četvorostrukim nadzemnim vodovima VN ide od glavne TS VVN/VN do razvodnog postrojenja VN (RP 110 kV), kao punkta za otiskivanje kablovskih vodova VN u unutar-gradsko tkivo.

Od glavnih TS VVN/VN polazi mreža VN, konkretno povezani (dvostrano napajani) 110 kV vodovi. U centralnim zonama (zone A i B) to su u principu kablovski vodovi, dok su na periferiji (zone C i D, eventualno i zona B ili samo određena područja zone B) to obično nadzemni vodovi.

Na 110 kV nivou, princip pouzdanosti "n-1" zadovoljava se preko dvostranog napajanja i dvostrukog napajanja na pojedinim napojnim dionicama 110 kV vodova.

Pri koncipiranju prikazanih napojnih mreža, usvojen je princip jednostrukog kvara (princip pouzdanosti " $n-1$ "). To znači da je obezbijeđena brza automatska rezerva za slučaj jednostrukog kvara za sve tehničke modele svih naponskih nivoa.

Po ovom principu dozvoljavaju se istovremeni kvarovi na različitim tehničkim modulima različitih naponskih nivoa.

Tako npr., u varijanti III rezerva je odezbjeđena za slučaj istovremenog kvara na nekoj od dionica 400 kV nadzemnog poluprstena i na jednom od 110 kV vodova od G TS I do RP VN i sl.

Na NN i SN nivou princip pouzdanosti " $n-1$ " se najčešće ne koristi samostalno, jer bi to zahtijevalo veliku rezervu na ovim nivoima gdje su investicije po instalisanom kW najveće. Zato se pri koncipiranju EDS obično primjenjuje "kombinovani princip" pouzdanosti (princip " $n-1$ " kombinovan sa principom "što veća ispala snaga to manje dozvoljeno vrijeme trajanja prekida").

Primjenom "kombinovanog principa" znatno se štedi u rezervi upravo na "najskupljem" nivou. Po ovom principu dozvoljeno vrijeme trajanja prekida pri ispadu snage reda snage TR SN/NN (400kVA, 630 kVA) je ispod 2 h. Za to vrijeme moguće je izvršiti i zamjenu TR SN/NN u kvaru novim. Znači da na nivou distributivnih TS SN/NN nije neophodno obezbijediti rezervni transformator u svakoj TS, već samo određeni broj transformatora kao "hladnu" rezervu za čitav EDS.

Kod rezerviranja u dionicama nepotpunog prstena, odnosno kod napojnih vodova najviših napona povoljna okolnost je što su ti nadzemni vodovi, već zbog korone, a i velikih faznih presjeka, sa provodnicima u snopu. Tu, i pored velikih faznih presjeka ostaje odnos termički trajno dozvoljene i ekonomske (gustine) struje ≥ 2 , pa nisu potrebna nikakva pojačanja zbog rezerviranja. Ovo je inače opšte svojstvo nadzemnih vodova, dakle i napojnih vodova VN (konkretno u razmatranim varijantama vodova 110 kV).

Sasvim je druga situacija kod kablovskih vodova visokog napona (npr. 110 kV). Tu se kod većih presjeka isprepliću ekonomska i termički trajno dozvoljena gustina struje, pa je potrebno zbog opterećenja napojne dionice kad otkaže druga dionica istog tehničkog modula, ili: izabrati čak i znatno više nego dvostruko veće presjeke od ekonomskih ili pojačati napojnu dionicu s jedne strane sa još jednim paralelnim kablom "normalnog" (za nošenje jedne TS VN/SN) presjeka (dvije TS VN/SN na VN prstenu ili VN povezanom vodu), odnosno s obje strane ako su na prstenu ili povezanom vodu tri TS VN/SN. Ako se radi o zatvorenom pogonu na VN nivou (sistem sa povezanim vodovima – *slika III.4 i slika III.5*) povećavaju se snage kratkog spoja, a može se pojaviti i problem "struja izjednačenja". Stoga se nekad ove VN mreže koncipiraju za rad u otvorenom pogonu.

U primjeni su ipak češća rješenja bez pojačanja napojnih dionica, pogotovo ako se koriste kablovi sa izolacijom od umreženog polietilena koji dozvoljavaju godišnje preopterećenje i do 100 časova sa temperaturom provodnika od 130°C, pri čemu svakako treba obaviti tačni termički proračun sa isušivanjem dijela okolnog tla.

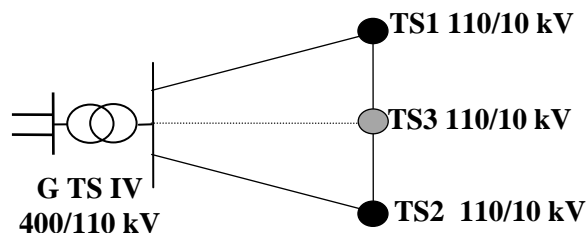
Kablovi sa izolacijom od umreženog polietilena se međutim još uvijek u nekim zemljama sporo uvode u praksu, s obzirom na osjetljivu tehnologiju proizvodnje (savršena čistoća izolacije) i znatan gubitak dielektrične čvrstoće sa vremenom. U Francuskoj su tako odustali od primjena umrežavanja za najviše napone počev od 220 kV. U toj naponskoj zoni primjenjuju kablove sa termoplastičnom izolacijom, koja dozvoljava znatno niše radne temperature.

Odustajanje od udvostručavanja kablova u napojnim dionicama omogućava i jedinstvene prostije i jeftinije razvodne šeme inače skupih postrojenja visokog napona.

Ponekad se VN napojne mreže ostvaruju po koncepciji napajanja TS VN/SN sa kablovima u bloku sa transformatorima VN/SN, pri čemu jedan blok služi kao rezerva (EDS Hamburga). Ovo rješenje ne zahtijeva velike persjeke, a može da bude i ekonomski konkurentno u nekim slučajevima, pogotovo ako bi se koristio isti rov, što je međutim problematično sa gledišta pouzdanosti.

Pored sisetma na slici III.3, slici III.4 i slici III.5 na napojnom nivou se primjenjuje i prstenasta konfiguracija, najčešće sa dvije TS VN/SN po prstenu.

Takođe je interesantan i takozvani sistem "tronožac" (slika III.6), a koji je i ekonomski konkurentan npr. u odnosu na sistemu sa povezanim vodovima (slika III.4). Povoljnost ove varijante je jednostavno uklapanje u planiranu dinamiku razvoja napojne mreže, a koja se ostvaruje kroz naknadno, npr. u drugoj fazi, uključenje treće TS VN/SN u postojeću prstenastu konfiguraciju. Istovremeno se gradi novi VN kabl od glavne TS VVN/VN do novoizgrađene napojne TS VN/SN.



Slika III.6. Napojni sistem-"tronožac"

Pored prezentiranih tipičnih konfiguracija napajanja TS VN/SN, u okviru gradskih EDS prisutna su i netipična, originalna rješenja kao što je npr. napojna mreža EDS Pariza. Ta rješenja svakako mogu biti veoma poučna za razumijevanje nekih novih mogućih tendencija u cjelokupnom sisetmu napajanja (velikih) gradova električnom energijom.

Napojne TS VN/SN

U okviru napojnih mreža EDS napojne TS VN/SN se realizuju kao autonomne TS ili kao korespondentne TS.

Kod autonomnih TS, svaka TS obezbjeđuje sama sebi rezervu.

Ako je napojna mreža koncipirana po principu "n-1" obezbjeđuje se rezerva u slučaju ispada jednog TR u TS. Opterećenje ispalog TR preuzimaju ostali ispravni transformatori u TS, uz izvjesno dozvoljeno preopterećenje, koje u opštem slučaju može iznositi oko 20%. U novije vrijeme ispituju se, a u nekim zemljama (npr. zemlje bivšeg Sovjetskog Saveza) i uvodi u praksu, mogućnosti znatno većeg privremenog preopterećenja transformatora, što naravno pored ostalog zahtijeva i savršeniji sistem hlađenja.

Kod autonomnih TS neophodno je da TS sadrži bar dva TR, odnosno četiri ako je napojna mreža, a u sklopu nje i napojne TS VN/SN, koncipirana po principu "n-2".

Kod **korespondentnih TS** za obezbjeđenje rezerve u okviru posmatrane TS angažuju se i susjedne TS VN/SN. To zahtijeva povezivanje TS VN/SN preko mreže SN.

Razlikujemo dva koncepte korespondentnih TS, konkretno TS VN/SN:

1. Koncept PNG (snaga- P ne- N garantovana- G)
2. Koncept PPG (snaga- P parcijalno- P garantovana- G)

U konceptu PNG sama TS VN/SN ne posjeduje nikakvu rezervu za slučaj ispada nekog od njenih TR, već se sva rezerva obezbjeđuje preko mreže SN iz susjedne(ih) TS VN/SN. Ovaj koncept zahtijeva jako razvijenu SN mrežu i jako povezivanje SN vodova između susjednih TS VN/SN.

U konceptu PPG sama TS VN/SN obezbjeđuje dio rezerve, dok se preostali dio rezerve obezbjeđuje preko mreže SN iz susjedne(ih) TS.

Ovdje je konfiguracija SN mreže jednostavnija, a time su investicije u SN mrežu manje, ali su istovremeno investicije za TS VN/SN nešto veće nego u konceptu sa TS tipa PNG.

Kod izbora snaga i broja TR kod transformacije 111/10 (20) kV na raspolaganju je cijela skala mogućih varijanti. Za neku optimalnu ukupnu snagu na nivou ove transformacije, danas se ide na broj TR 110/10 kV od jedan do četiri. Što je manji broj jedinica za istu ukupnu snagu transformacije, to su potrebne veće snage jedinica i teže je rješenje problema rezerve, ali se znatno uprošćava i pojeftinjuje skupi višenaponski dio postrojenja.

Rješenje sa jednom jedinicom, najšire primjenjeno kod transformacije SN/NN, postavlja kod TS VN/SN specifične zahtjeve za rješenje problema rezerve preko mreže SN. Po ovom, za izvedbu komplikovanom konceptu realizovano je npr. napajanje centralnog dijela Pariza, gdje je istovremeno obezbijeđeno i "kontinualno" napajanje u slučaju dvostrukog ispada (princip pouzdanosti "n-2").

Istovremeno, snaga TS je ograničena, uz prihvatljive relativne napone kratkog spoja TR, snagama kratkog spoja koje mogu podneti elementi i oprema na SN nivou. Veće jedinice zahtijevaju teža rješenja sa rednim prigušnicama, što pri lošem faktoru snage dovodi do potrebe za kompenzacijom reaktivne snage.

Iz ovih razloga danas dominiraju rješenja sa dvije jedinice, pri čemu su često one jedna drugoj rezerva, ili su jedinice nešto bolje iskorišćene ostvarivanjem djelimične

rezerve iz susjedne(ih) TS VN/SN preko povezane mreže SN. Česta su takođe i rješenja sa dvije radne jedinice i jednom čisto rezervnom.

Na veći broj jedinica i veće ukupne snage TS VN/SN normalno se ide u slučajevima gdje je izuzetno težak problem lokacije i gdje su veoma visoke površinske gustine opterećenja. Takva postrojenja zahtijevaju i veće površine, a zaoštren je i problem razvođenja kablova.

Ograničenja koja postavljaju snage kratkog spoja kod direktnih transformacija (npr. TS 110/10 kV), praktično eliminišu mogućnost paralelnog rada TR, a odražavaju se, kao što je rečeno, i na veličinu jedinica, ograničavajući je npr. na TR parametara $S_{nTR}=40$ MVA, $u_r=20$ % (veća vrijednost relativnog napona kratkog spoja poskupljuje TR i povećava gubitke) i sa opsegom regulacije regulacionog transformatora $\pm 18\%$. Izvjesno povećanje snage bez rednih prigušnica je moguće i ako se ide na složenije konstrukcije TR, odnosno na tronamotajne TR sa "dva sekundara".

Od opisanih koncepata napojnih TS VN/SN (autonomne TS i korespondentne TS tipa PNG i PPG), hibridni sistem tipa PPG ima najveću fleksibilnost, a u velikom broju slučajeva i tehničko-ekonomsku prednost. Ovaj sistem se na SN nivou u osnovi oslanja na sistem sa povezanim vodovima kombinovan sa sistemom otvorenih prstenova ili sistemom sa rezervnim kablom. Tu npr. napojne TS VN/SN sa dva TR privremeno preopteretljiva sa 25% ($\pi_{TR} = 0,25$) zahtijevaju (za slučaj ispada jednog TR) teorijski samo 40% povezanih vodova SN.

III.3 KONFIGURACIJE DISTRIBUTIVNIH SN MREŽA

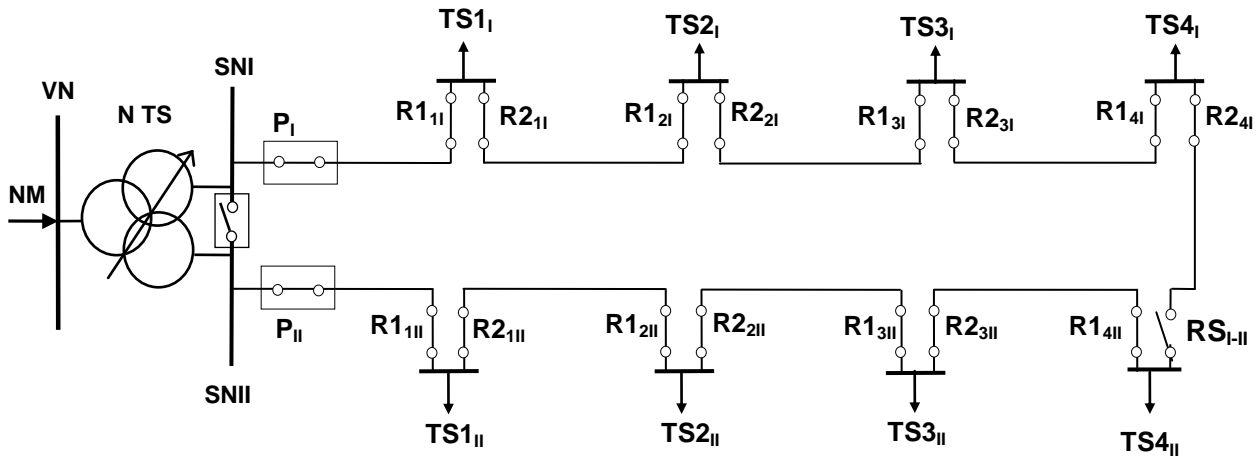
Prstenasta konfiguracija (slika III.7)

Klasično rješenje gradske kablovske mreže SN predstavlja konfiguracija sa negdje na sredini (električna sredina) otvorenim prstenovima - prstenasta konfiguracija (slika III.7).

Prstenasta konfiguracija zadovoljava najčešće korišćeni opšti princip pouzdanosti - tzv. "kombinovani princip" pouzdanosti.

U slučaju kvara na nekoj dionici ovog tehničkog modula (prstena), prekidač na ulazu isključuje automatski odgovarajuću "polovinu" prstena (poluprsten). Da bi se ponovo uspostavilo napajanje cjelokupne potrošnje, potrebno je nekim od savremenih sredstava, odnosno načina za grubo određivanje lokacije kvara naći dionicu u kvaru. Zatim, putem mobilnog personala (kao u našim uslovima, bar za sada) izvršiti potrebne manipulacije sa rastavljačima snage radi izdvajanja dionice u kvaru i uspostavljanja, uz naknadno, obično daljinsko uključenje i isključenog prekidača (ako kvar nije nastao na glavnoj napojnoj dionici), napajanja cjelokupne potrošnje. Sve ove manipulacije traju reda veličine sata.

Nastoji se da se prsten otvori na mjestu gdje struja "prolazi kroz nulu" kad bi prsten radio kao zatvoren. Pri takvom rješenju imamo najmanje gubitke, odnosno najpovoljniju raspodjelu opterećenja među poluprstenovima.



Slika III.7. Prstenasta konfiguracija

Osnovni nedostatak prstenaste konfiguracije je relativno slabo iskorišćenje u normalnom radu. Naime, i sa izvjesnim privremenim preopterećenjem kablova SN reda 20% iznad termički trajno dozvoljenog opterećenja, iskorišćenje je svega 0.6 (60%), s obzirom da se za najnepovoljniji kvar u vrijeme vršnog opterećenja na napojnoj dionici ima dvostruko opterećenje ispravne napojne dionice.

Nepovoljan efekat je i taj što se sa slabijim opterećenjem povećava broj kablovskih odvoda, što dalje znači i povećanje tzv. produženog dijela mreže SN (korisno je razlikovati "produženi", "aktivni" i "rezervni" dio mreže). I jedno i drugo povećava potrebne investicije za TS VN/SN i mrežu SN.

I pored ovih negativnosti, prstenasta konfiguracija na nivou SN dominira u gradskim EDS.

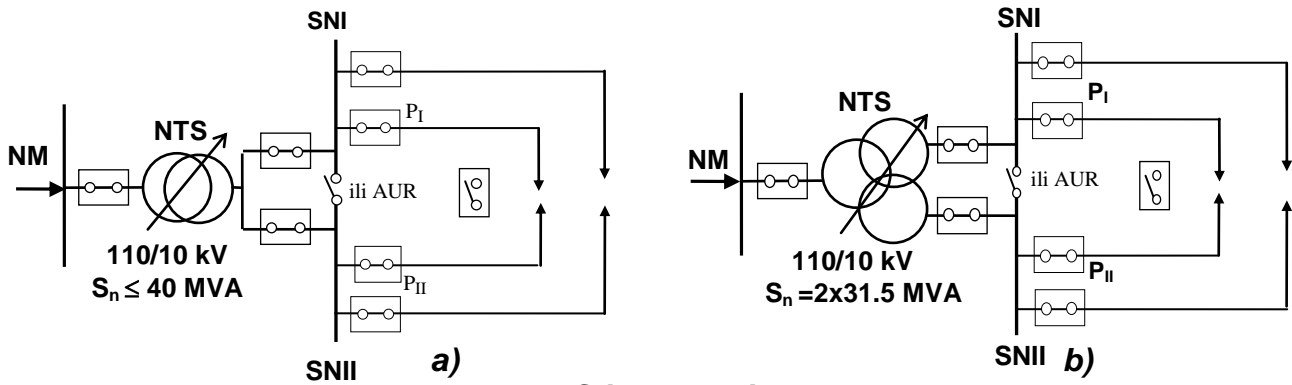
Povoljnosti ove konfiguracije su:

- mali gubici,
- povoljne naponske prilike,
- produžen vijek trajanja kablova, zbog manjeg opterećenja (reda 60% nominalnog) tokom eksploatacionog perioda,
- nema termičkih problema pri raspletu kablova iz TS VN/SN,
- postoji izvjesna rezerva za slučaj rasta opterećenja, jer se može ići i sa većim maksimalnim opterećenjem od 60% termički trajno dozvoljenog uz izvjesan, ne baš velik rizik da će u slučaju najnepovoljnijeg kvara prekid dijela potrošnje trajati do oprevke kablova (reda dana).

Prstenasta konfiguracija se oslanja na autonomne TS VN/SN.

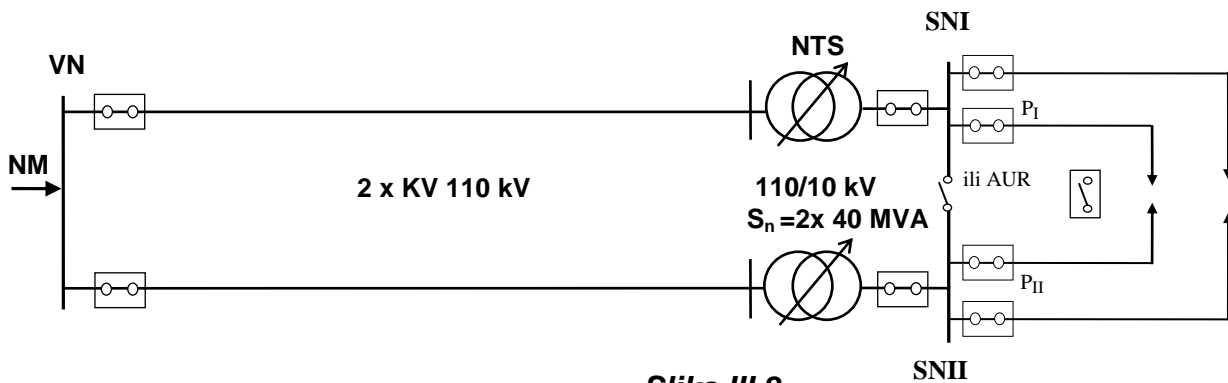
Napojne dionice istog prstena polaze od različitih sekcija SN sabirnica, obavezno istog TR VN/SN ako se napaja složenopetljasta NN mreža, inače ne mora, mada je poželjno. Dovoljne su jednostruke sabirnice. TS SN/NN su priključene po pravilu preko rastavljača snage na način "ulaz - izlaz".

Na slici III.7.a i slici III.7.b su ilustrovana karakteristična rješenja priključka napojnih dionica prstenaste SN konfiguracije na napojne TS VN/SN.



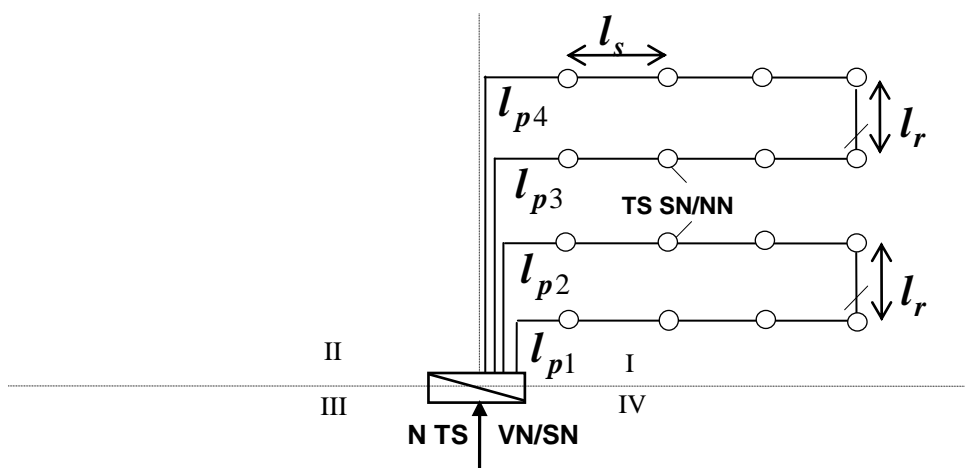
Slika III.7.a i III.7.b

Slika III.8 ilustruje rješenje priključka napojnih dionica prstenaste SN konfiguracije za slučaj napajanja preko "dubokog uvoda" VN.



Slika III.8.

Rasplet prstenova na idealizovanom modelu konzuma prikazan je na slici III.9. Rastojanja između TS SN/NN (dužine SN kablovskih dionica između dvije TS SN/NN) označena su sa l_s [km] i predstavljaju aktivni dio SN mreže.



Slika III.9.

U prikazanom idealizovanom rješenju, dužine svih dionica SN kablova između TS SN/NN su jednake (dužina l_s [km]). U realnim izvedbama distributivnih mreža dužine ovih kablovskih dionica su različite. Najmanja odstupanja od idealizovanog modela imamo u distributivnim mrežama gradskih stambenih konzuma, koje karakteriše ravnomjernost površinske gustine opterećenja.

Rastojanja od napojne TS VN/SN do prve TS SN/NN su različita za pojedine poluprsteneve i predstavljaju tzv. produženi dio SN mreže.

Za idealizovani model na slici III.9 produženi dio SN mreže za svaki od i poluprsteneva je: $l_{pi} = f_{pi} \cdot l_s$,

gdje je f_{pi} - tzv. faktor produžnja: $f_{p1} = 1, f_{p2} = 2, f_{p3} = 3, f_{p4} = 4$.

Povezivanje poluprsteneva ostvaruje se preko tzv. rezervnog dijela SN mreže, čije su dužine kablovskih dionica u razmatranom idealizovanom modelu jednake (l_r [km]).

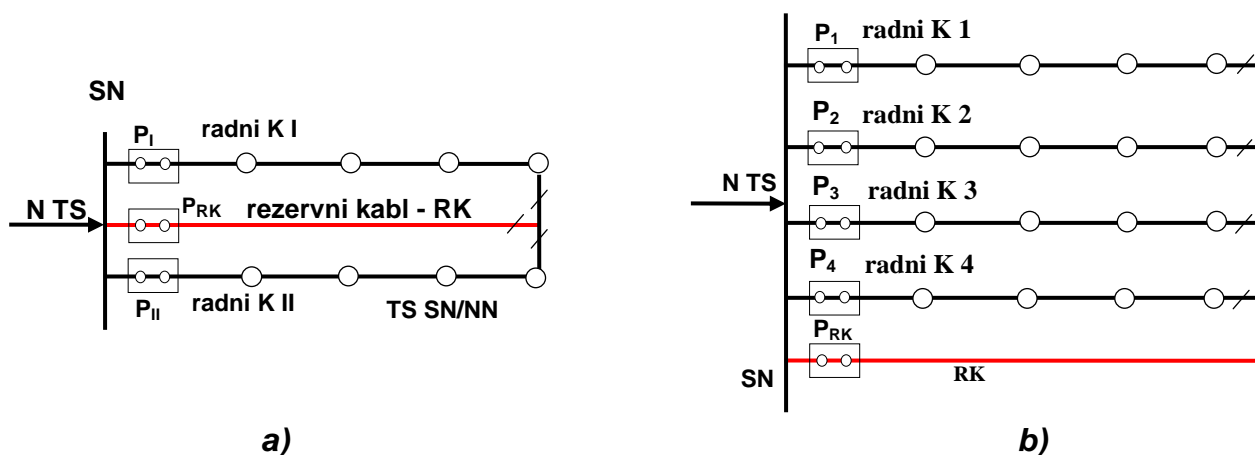
U realnim distributivnim mrežama trase kablovskih dionica odstupaju od idealno pravih linija, a takođe dolazi do povećanja dužina kablovskih dionica zbog priključka TS i sl.

Konfiguracija sa rezervnim kablom (Slika III.10)

Konfiguracija sa rezervnim kablom (Slika III.10) praktično proizilazi iz prstenaste konfiguracije.

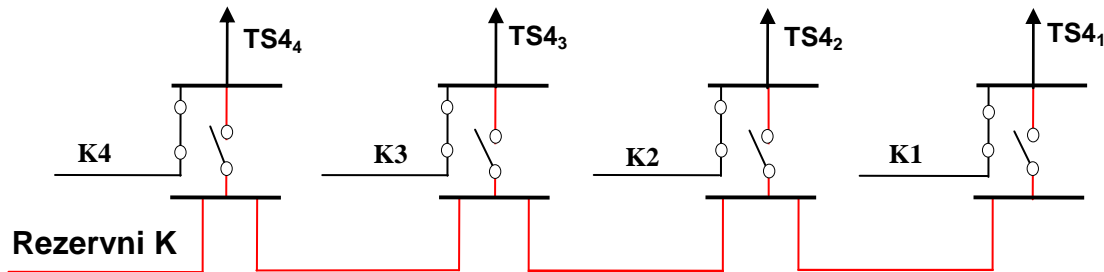
Idući u pravcu manjih investicija razvio se sistem sa rezervnim kablom (francuski "klas", kod nas često nazvan "pramen"), a koji je nekad svrstavan u kategoriju "linearnih" - "usmjerenih" sistema. Ova konfiguracija je zapravo nastala iz konfiguracija otvorenih prstenova. Naime, kad dođe zbog porasta opterećenja do punog opterećenja poluprsteneva (teorijskog iskorišćenja otvorenih prstenova) tada se kao pogodno nameće rješenje sa rezervnim kablovima, kao sistem boljeg iskorišćenja, kod kojeg se direktno na mjesto otvorenih prstenova dovodi rezervni kabl.

Stvar je pouzdanosti i tehničko-ekonomske izvodljivosti, na koliko radnih kablova će doći jedan rezervni. Analize pouzdanosti pokazuju da bi se moglo ići i na odnos do 8:1 (8 radnih kablova i jedan rezervni), ali da je to rijetko u granicama ekonomičnosti izvodljivo. Obično se računa sa prosječnim odnosom 4:1 (Slika III.10.b), što pod pretpostavkom opterećivanja radnih kablova do pune pojedinačne termičke granice (istina teško ostvarljivo pri raspletu iz TS VN/SN) znači prosječno iskorišćenje tehničkog modula: $i=4/5=0.8 > 0.6$.



Slika III.10.

Rezervni kabl je po pravilu identičan sa radnim kablovima, ali normalno neopterećen, a pod naponom (prekidač P_{RK} u TS VN/SN je zatvoren, a veza - rastavljač snage u krajnjoj TS SN/NN u kojoj se završava rezervni kabl je otvorena), da bi se mogao registrovati eventualni kvar na njemu. Zbog toga mora da se nastavlja iz TS SN/NN in continuo, što znači da ga ne smije "prekinuti" rastavljač snage (vezivanje "glava na glavu" – *slika III.11*). Za priključak na sabirnice SN u TS VN/SN važi slično kao za krajeve otvorenih prstenova, s tom razlikom što su ovdje potrebne dvostruke sabirnice.



Slika III.11.

Mada se konfiguracije sa rezervnim kablom po pravilu oslanjaju na TS VN/SN sa autonomnom rezervom, nije sasvim isključena ni produžena otvorena veza rezervnog kabla sa susjednim TS.

Očigledno, investiciono ova konfiguracija ima određene **prednosti nad prstenastom konfiguracijom**:

- veće iskorišćenje,
- manji broj izvoda,
- kraći produžni dio mreže SN.

Negativni svojstva u odnosu na prstenastu konfiguraciju:

- Veći gubici i pad napona, zbog potpunog opterećenja kablova, a uslijed čega imamo i kraći vijek trajanja kablova u odnosu na prethodni sistem.

- Nije obezbjeđena rezerva za slučaj porasta opterećenja.

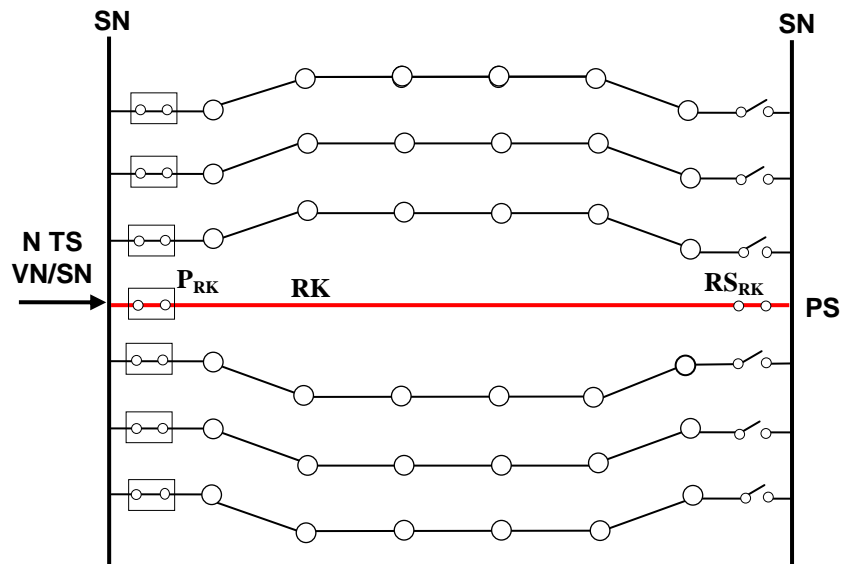
- U konfiguracijama sa rezervnim kablom je prisutan i problem raspleta kablova iz TS VN/SN. Naime, ako se ne povećava presjek (što se obično ne čini) pri raspletu kablova iz TS VN/SN, gdje danas dolazi veliki broj kablova u isti rov i ne pomaže ni tzv. stepenasto polaganje, ne bi se moglo zbog faktora termičke redukcije računati sa 100% iskorišćenjem radnih kablova

- Priključak rezervnog kabla zahtijeva specifičnost u krajnjim TS SN/NN (veza "glava na glavu"), kao i produžetak rezervnog kabla da bi došao do krajnjih TS SN/NN svih radnih kablova

Analize ekonomičnosti u realnim konkretnim uslovima ređe su dale prednost ovoj konfiguraciji, mada su čisto teorijski, idealizovana razmatranja (npr. bez dodatnih troškova za dvostruke sabirnice, bez povećanja presjeka ili smanjenja termičke opteretljivosti pri polaganju u isti rov, kao i bez smanjenja vijeka trajanja kablova) češće na strani ove konfiguracije, u odnosu na prstenastu konfiguraciju.

"Čistija", ali nešto skuplja varijanta konfiguracije sa rezervnim kablom je **konfiguracija sa "protivstanicom" (slika III.12).**

Po francuskoj terminologiji ova konfiguracija se naziva sistem sa "refleksionim punktom".



Slika III.12. Konfiguracija sa "protivstanicom"

U ovoj varijanti svi radni, kao i rezervni kabl jednog tehničkog modula završavaju na zajedničkim sabirnicama SN u "protivstani" (PS), smještenoj obično u malom objektu.

Rezervni kabl je pod naponom, preko uključenog rastavljača snage i sabirnice SN u "protivstani". Radni kablovi su normalno odvojeni od sabirnice u PS rastavljačima snage. Na taj način izbjegnuto je sistem "glava na glavu", a sama "protivstanica" može prerasti u buduću TS VN/SN.

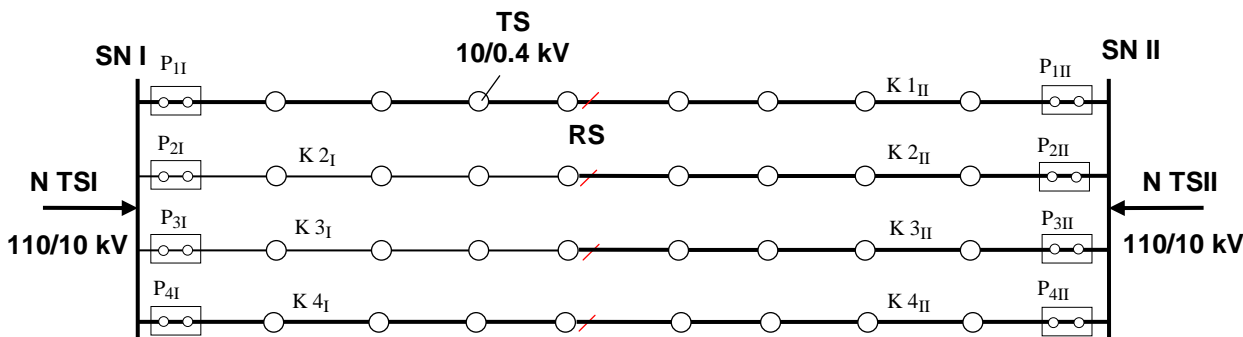
U sistemu sa "protivstanicom" imaju se dodatni troškovi zbog produženja radnih kablova, koji se samo donekle kompenzuju skraćanjem rezervnog kabla, a takođe i na samu "protivstanicu".

Konkretne uporedne ekonomske analize, čiji se rezultati mogu sresti u literaturi, između prstenaste konfiguracije, konfiguracije sa rezervnim kablom i konfiguracije sa "protivstanicom" govore o relativno malim razlikama, po gornjem redosljedu, među ovim varijantama, uz najniže troškove kod prstenaste konfiguracije.

Sve dosad razmatrane konfiguracije SN distributivnih mreža zahtijevaju u slučaju kvara, a prema sadašnjem stanju stvari u oblasti automatizacije na ovom naponskom nivou i u organizaciji personala u elektrodistributivnim organizacijama, prekid u napajanju dijela potrošača reda do jednog sata.

Konfiguracija sa povezanim vodovima – dvostrano napajanje (slika III.13)

Konfiguracija sa povezanim vodovima ili konfiguracija sa dvostranim napajanjem se karakteriše povezivanjem SN vodova koji polaze iz različitih napojnih TS VN/SN, konkretno iz N TSI i N TSII 110/10 kV (Slika III.13).



Slika III.13 Konfiguracija sa povezanim vodovima-dvostrano napajanje

Formiranje ove konfiguracije može se posmatrati kroz prelazak "protivstanice" u TS VN/SN, uz istovremen prelazak rezervnog kabla u radni i ugradnju odgovarajuće komutacione opreme.

U normalnom režimu radi u otvorenom pogonu, pri čemu su rješenja za način i mjesto otvaranja različita.

Sistem sa povezanim vodovima ima sličnosti sa prstenastim sistemom, ako se razdvajanje vrši u TS SN/NN lociranim negdje na "električnoj sredini" povezanih vodova. Pri takvom rješenju imamo relativno nizak faktor iskorišćenja: $\pi=1.2 \Rightarrow i=0.6$ (nepovoljnost), ali i niz povoljnosti :

- povoljne naponske prilike,
- niži gubici,
- produženi vijeku trajanja kablova,
- povoljno rješenje za rasplet kablova na izlazu iz TSI VN/SN i TSII VN/SN,
- fleksibilnost pri porastu opterećenja.

Konfiguracija sa povezanim vodovima ima karakterističnu prednost u slučaju da su napojne TS VN/SN tipa korespodentnih TS. Tada je zbog toga neophodno preko SN mreže obezbijediti dio ili svu rezervu za ispalu snagu u TS VN/SN.

Preko povezane SN mreže obezbjeđuje se samo dio ispale snage, ako su napojne TS VN/NN realizovane kao korespodentne TS tipa PPG (snaga-P djelimično, odnosno parcijalno-P garantovana-G). Ako su to korespodente TS tipa PNG (snaga-P ne-N garantovana-G), preko povezane SN mreže treba obezbijediti rezervu za svu ispalu snagu u TS VN/NN .

Sistem korespodentnih napojnih TS VN/SN tipa PNG zahtijeva znatno gušću i jače povezanu SN mrežu, jer se tada u slučaju ispada jedne TS VN/SN sva rezerva obezbjeđuje preko povezane SN mreže. Pošto se tu radi o velikoj ispalnoj snazi (reda 40 MVA) dozvoljeno vrijeme trajanja prekida je veoma malo (reda sekundi), tako da

se ne može ići na rješenje sa rastavljačima snage postavljenim negdje na "sredini" SN vodova jer je vrijeme potrebno za manipulacije u tom slučaju znatno duže (reda sata) od dozvoljenog.

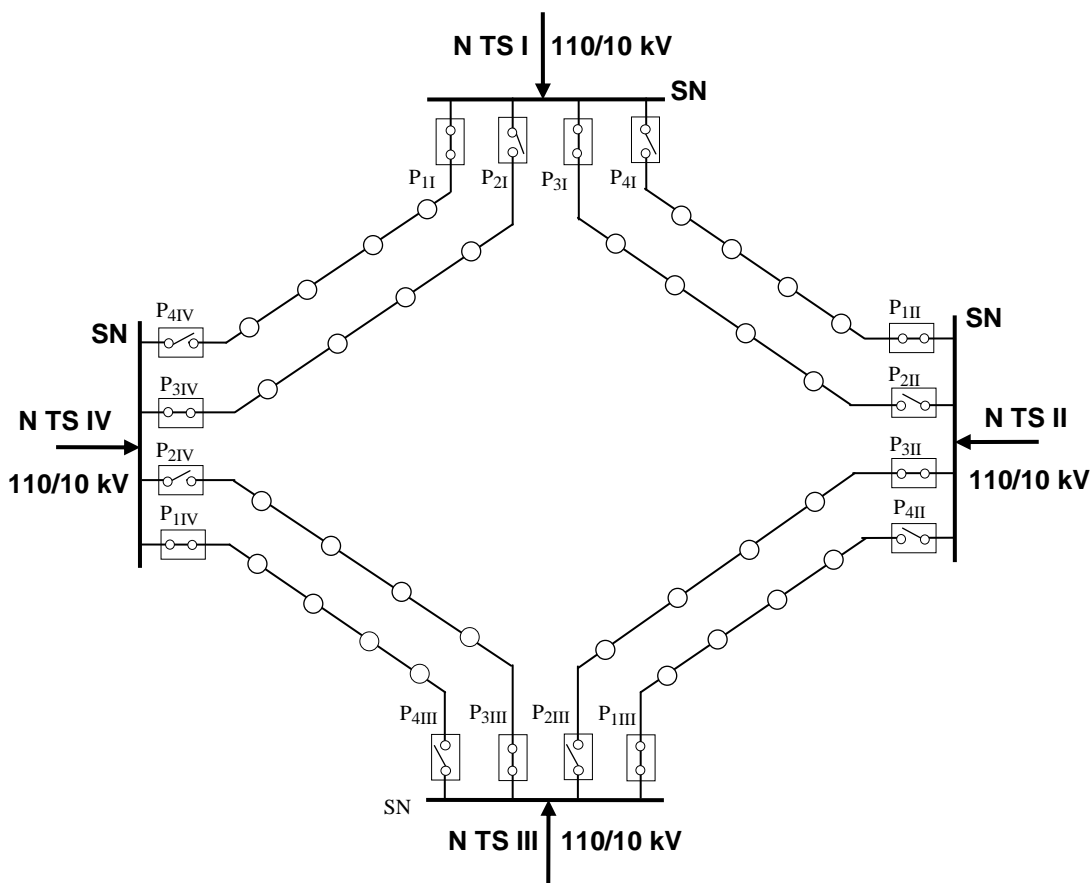
U sistemima sa korespondentnim TS VN/SN se najčešće ide na rješenja sa povezivanjem više TS VN. To su **konfiguracije sa povezanim vodovima – višestranu napajanje (slika III.14).**

Konfiguraciju sa (otvorenim) povezanim vodovima prikazanu na slici III.16 u Francuskoj nazivaju konfiguracija "vreteno".

U ovom rješenju TS VN/SN mogu biti uprošćene, jednotransformatorske, radijalno napajane, sa prebacivanjem opterećenja za slučaj ispada na susjedne, korespondentne TS.

Npr. u slučaju ispada N TS_I cjelokupno njeno opterećenje preuzimaju N TS_{II} i N TS_{III} (automatski se isključuju prekidači P_{1I} i P_{3I} u N TS_I, a uključuje prekidač P_{2II} u N TS_{II} i P_{4IV} u N TS_{IV}).

Prekidači u napojnim TS VN/SN su alternativno uključeni - isključeni, tako da se svaki drugi povezani kabl normalno napaja iz neke od korespondentnih TS VN/SN. To je potrebno, ako se želi u pogledu brzine relativno prihvatljivo prebacivanje opterećenja u slučaju ispada neke od TS VN/SN. Inače bi se koristilo otvaranje rastavljača snage negdje na "sredini" povezanog voda, sa obostrano uključenim krajnjim prekidačima.



Slika III.14. Konfiguracija sa povezanim vodovima – višestranu napajanje

Dobitak u brzini je "plaćen" opterećenjem SN kablova u krajnjoj liniji do termičke granice, što znači povećane gubitke, veće padove napona, kraći vijek trajanja, iskorišćenje u prosjeku 50%, kao i relativno manje pregledan nadzor.

U slučaju sa otvorenim rastavljačima snage na "sredini" vodova, ispad TS VN/SN bi doveo do dužeg prekida u snabdijevanju potrošača, reda i do sata. Istovremeno, imali bi se neznatni gubici snage i padovi napona, duži vijek trajanja, kao i lakši nadzor nad prekidačima.

Da bi se objedinila dobra svojstva obje varijante, mogu se na "sredini" uvesti, nestandardno, prekidači. Takođe je intresantna varijanta sa daljinskim nadzorom i upravljanjem rastavljačima snage postavljenim negdje na "sredini" vodova.

I za konfiguracije sa povezanim vodovima je karakterističan priključak TS SN/NN po principu "ulaz-izlaz", kao i jednostruki sistem sabirnica SN.

U pogledu pouzdanosti konfiguracije sa povezanim vodovima mogu imati određene prednosti nad konfiguracijama koje se oslanjaju na autonomne napojne TS VN/SN, prvenstveno u slučaju većih havarija, ali vrijeme trajanja prekida na nivou napojnih TS može biti duže, uz istovremeno povećanu opasnost od pogrešnih manipulacija.

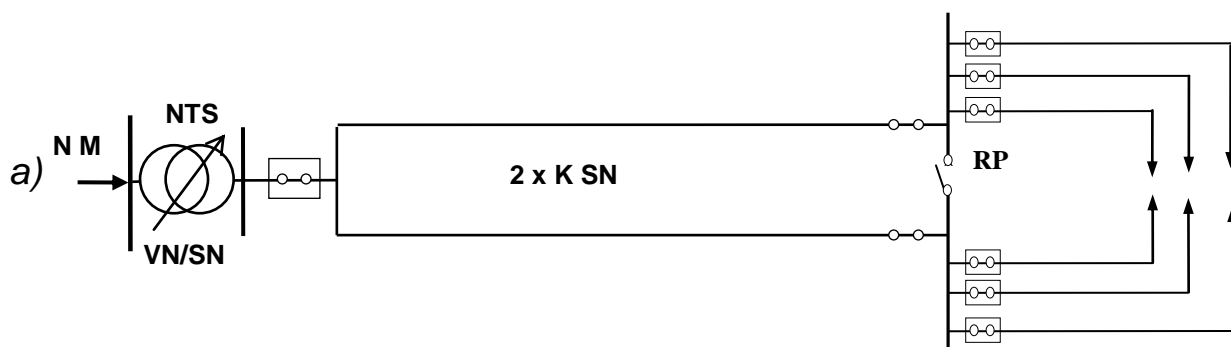
Takođe treba istaći da ova konfiguracija nije pogodna za napajanje složenopetljaste NN mreže, mada se mogu realizovati oblici SN konfiguracija sa povezanim vodovima pogodni i u slučajevima da je NN mreža složenopetljasta (primjer distributivne mreže Pariza).

Konfiguracija sa razvodnim postrojenjem (slika III.15)

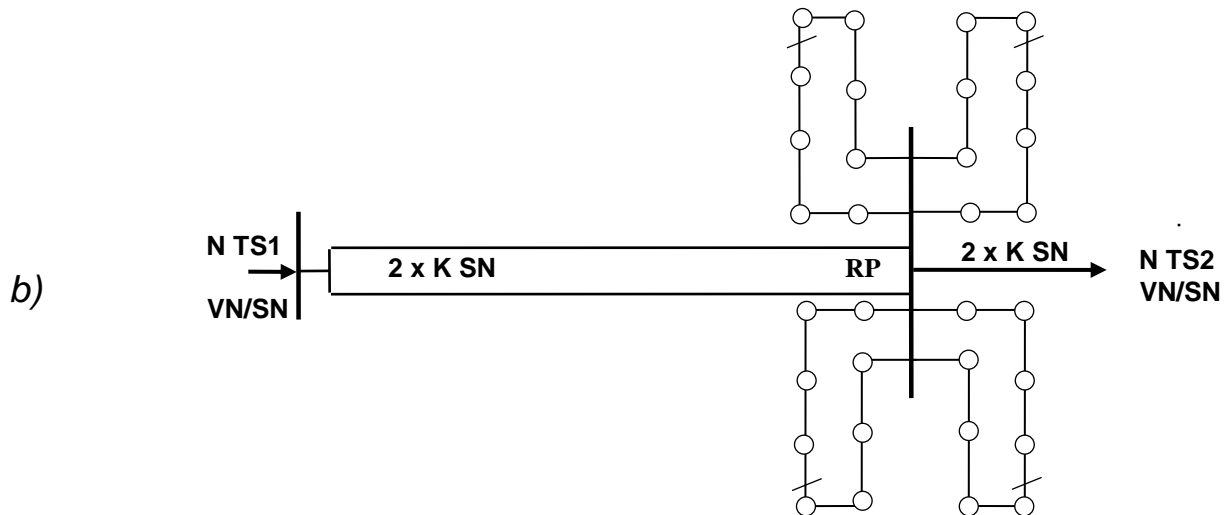
Konfiguracija sa razvodnim postrojenjem (RP) se karakteriše postojanjem RP koje se locira u samom centru potrošnje, a napaja se preko jakih SN vodova (napojni vodovi - fideri). Ova konfiguracija je karakteristična (sa širokom primjenom u prošlosti) za EDS u istočnim zemljama i zemljama bivšeg Sovjetskog Saveza.

Napojni vod koji ide do RP se najčešće realizuje kao dvostruki kablovski vod na zajedničkom prekidaču (Slika III.15.a).

Oba kablovska voda se dimenzionišu prema snazi potrošača priključenih na RP, što znaši da se u slučaju ispada jednog od napojnih SN vodova, napajanje čitavog područja nastavlja (nakon potrebnih manipulacija) preko drugog napojnog kablovskog voda.



Od razvodnog punkta RP se granaju obično otvoreni prstenovi manjeg presjeka (slika III.15.b), kakvi su, naravno mogući i sa sabirnicama SN u TS VN/SN.



Slika III.15. Konfiguracija sa razvodnim postrojenjem

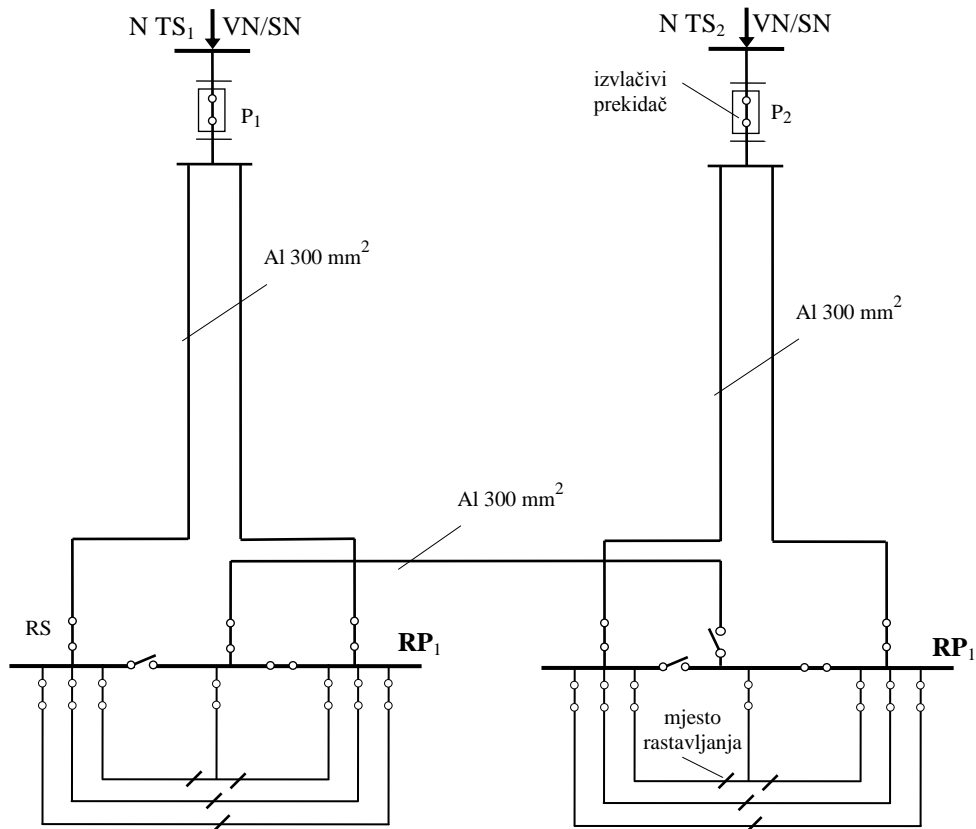
Smisao ove konfiguracije je da se smanji tzv. produženi dio SN mreže, pa je ovaj sistem utoliko ekonomičniji što su udaljeniji reoni koji se napajaju.

Konfiguracija sa RP se u svom klasičnom izdanju oslanjala na autonomne TS VN/SN. Danas se po pravilu koristi sa spojnim vezama (otvorenim) između dva RP koja se napajaju iz susjednih napojnih TS VN/SN. Vod koji povezuje dva RP je istih karakteristika kao i glavni napojni vodovi koji polaze od napojnih TS VN/SN, tako da se u slučaju postojanja ove veze može ići u VN mreži na rješenje sa korespondentnim TS VN/SN.

Dimenzionisanje je takvo da napojni dvostruki kabl (na zajedničkom prekidaču) može uz privremeno preopterećenje reda 20% (u ruskoj praksi do 30%) da nosi (u slučaju otkaza napajanja iz jedne TS VN/SN) oba RP, što znali da je jednostruki povezni kabl dovoljan za napajanje jednog RP (udvostručenje snage bi znalilo udvostručenje kablovskih veza).

Konfiguracija sa RP je povoljna u slučaju konzuma sa centrima potrošnje udaljenim od napojnih TS VN/SN, jer se tu značajno smanjuje dužina SN mreže, i time poboljšavaju naponske prilike i smanjuju gubici. No, bez obzira na te prednosti, za savremene gradove, ova konfiguracija se nije pokazala ekonomičnom, pa se od nje odustaje i u zemljama u kojima se doskora intenzivno primjenjivala.

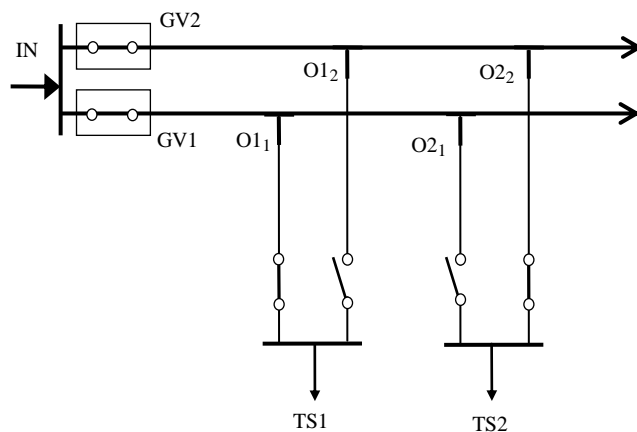
Uz određena poboljšanja (originalno poboljšanje lokalne automatike u RP razvijeno je u Štutgardu – slika III.16) konfiguracija sa RP u specifičnim uslovima može da bude konkurentna drugim sistemima, mada se, kao što je rečeno, praktično napušta kao manje ekonomična i tamo gdje se najšire primjenjivala. I samo poboljšano rješenje (slika III.16) u Štutgardu je zasad primjenjeno u svega 8% slučajeva.



Slika III.16.

Konfiguracija sa dvostrukim vodovima (slika III.17)

Konfiguracija sa dvostrukim vodovima (dvostruko napajanje) je u svom izvornom izdanju sistem sa dvostrukim glavnim kablovima i dvostrukim kablovima-ograncima (slika III.17).



Slika III.17. Konfiguracija sa dvostrukim vodovima – dvostruko napajanje

U francuskoj izvedbi na dvostruke glavne kablove priključuju se preko T spojnica dvostruki kablovi-ogranci manjeg presjeka, a na njih, sa ili bez lokalne automatike, TS SN/NN. U slučaju kvara na jednom, bilo glavnom kablju ili ogranku prebacuju se TS SN/NN na ispravni kabl.

Prema francuskim analizama, ova konfiguracija, koja sa eventualnom primjenom lokalne automatike praktično eliminiše prekide napajanja kod jednostrukih kvarova na SN, može da bude i ekonomičnija od drugih u slučaju značajnih udaljenosti napojnih TS VN/SN od glavnih kablovskih pravaca.

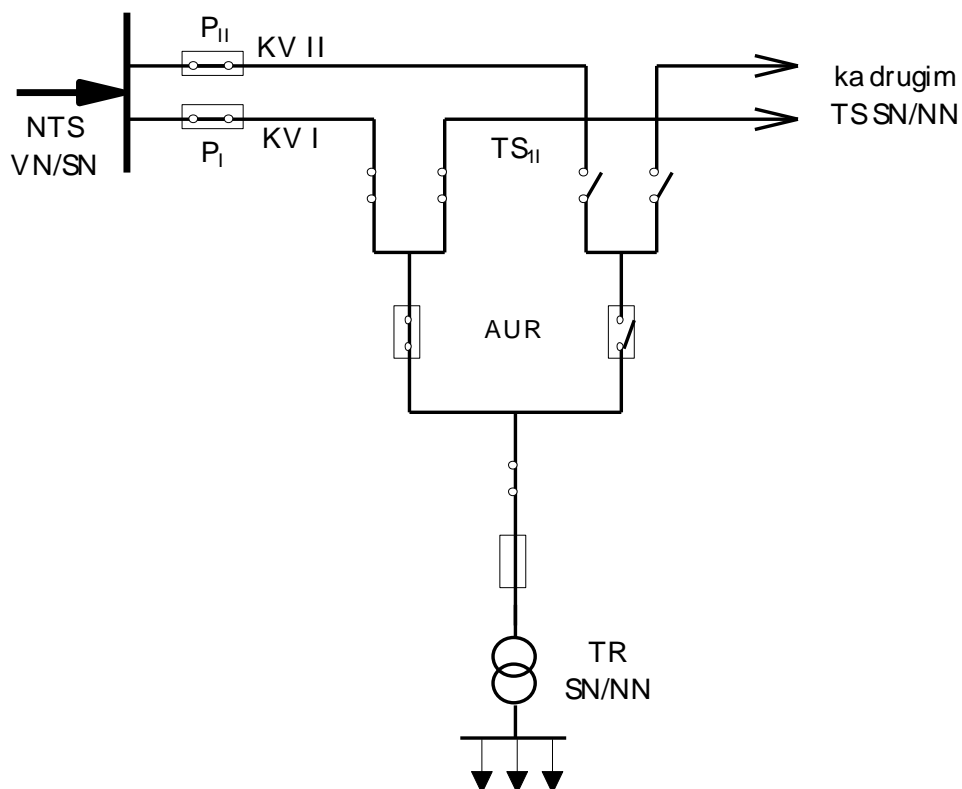
Rješenja sa T spojnica, se često izvode bez lokalne automatike i tada prekidi pri jednostrukim kvarovima traju reda sata.

Konfiguracija sa dvostrukim vodovima se vezuje na autonomne TS VN/SN, gdje su dovoljne jednostruke sekcionisane sabirnice SN, mada se može realizovati i sa napajanjem glavnih kablova iz susjednih TS VN/SN (sistem korespondentnih napojnih TS tipa PPG).

Ova konfiguracija obezbjeđuje, u slučaju potpune automatizovanosti, koja je ovdje jednostavnija-ekonomičnija u poređenju sa prethodnim konfiguracijama gdje imamo dvostrano napajanje, praktično neprekidno napajanje (eliminišu se prekidi napajanja kod jednostrukih kvarova).

Česta su rješenja konfiguracija sa dvostrukim vodovima, realizovana na principu "ulaz-izlaz" uz potpunu automatizaciju. Ona su ujedno i najskuplja ali i najpouzdanija. Ove konfiguracije su karakteristične za EDS Moskve, a realizuju se u dvije osnovne varijante:

1. Konfiguracija sa dvostrukim kablovima i sa automatskim uključanjem rezerve na SN (slika III.18);
- 2.

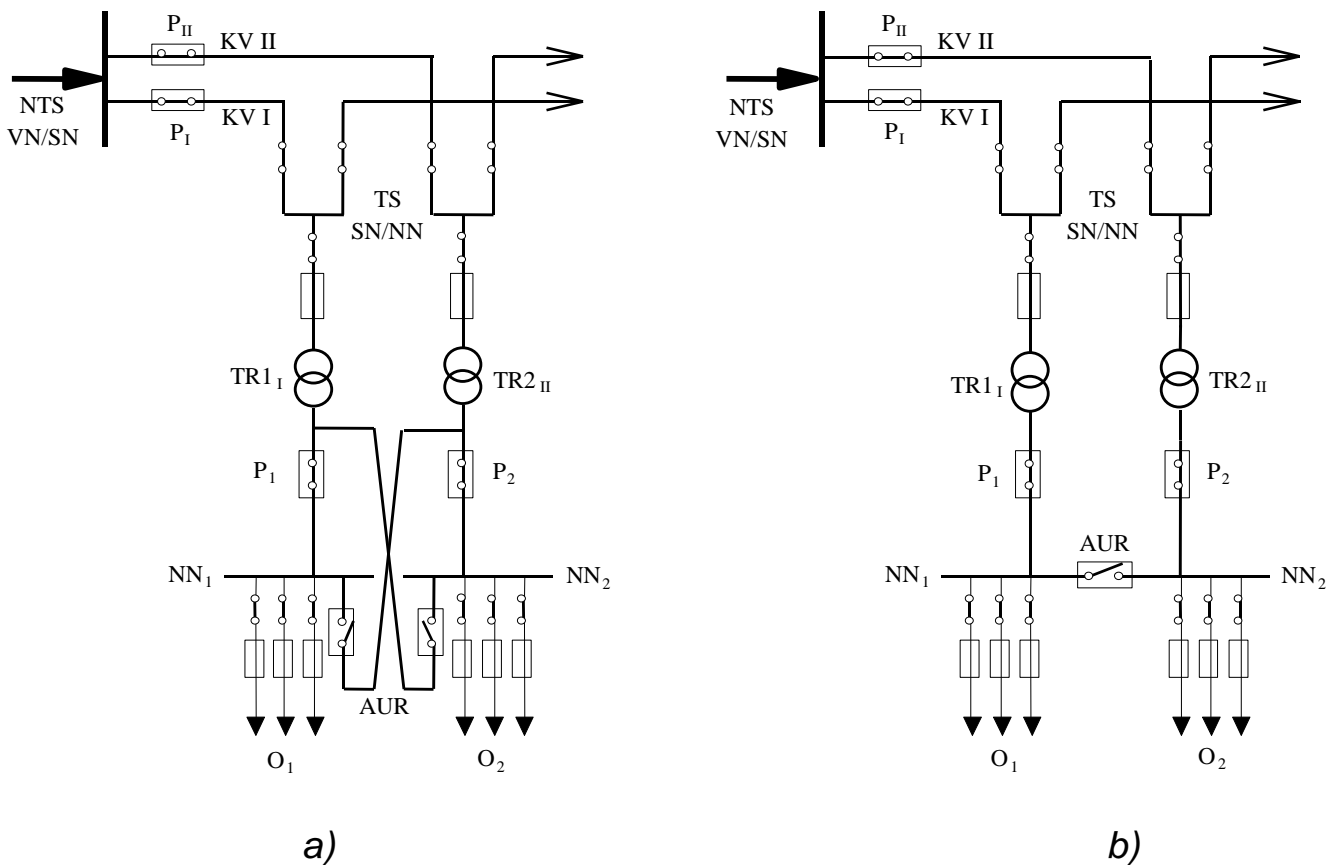


Slika III.18. Automatso uključanje rezerve na SN

2. Konfiguracija sa dvostrukim kablovima i sa automatskim uključenjem rezerve na NN (slika III.19).

U varijanti 1 (slika III.18), TS₁₁ se u normalnom pogonu napaja preko SN kabla KV_I. U sklopu SN postrojenja TS₁₁ SN/NN figuriše, kao i kod ostalih TS SN/NN koji se napajaju preko KV_I i KV_{II}, sistem za automatsko uključenje - prebacivanje na rezervno napajanje (AUR). Tada, npr. pri ispadu glavne dionice kabla KV_I posmatrana TS₁₁, kao i sve TS SN/NN koje se u normalnom pogonu napajaju preko KV_I, se automatski prebacuje (djelovanjem sistema AUR) na napajanje preko SN kabl KV_{II}.

Ovdje je dakle obezbjeđeno neprekidno napajanje za slučaj kvara na SN nivou, ali ne i za slučaj kvara na nivou TS SN/NN. Ovaj nedostatak ne postoji u rješenju sa AUR na niskom naponu koje se može izvesti u jednoj od dvije varijante prikazane na slici III.19 (varijanta 2.a i varijanta 2.b).



Slika III.19. Automatsko uključenje rezerve na NN

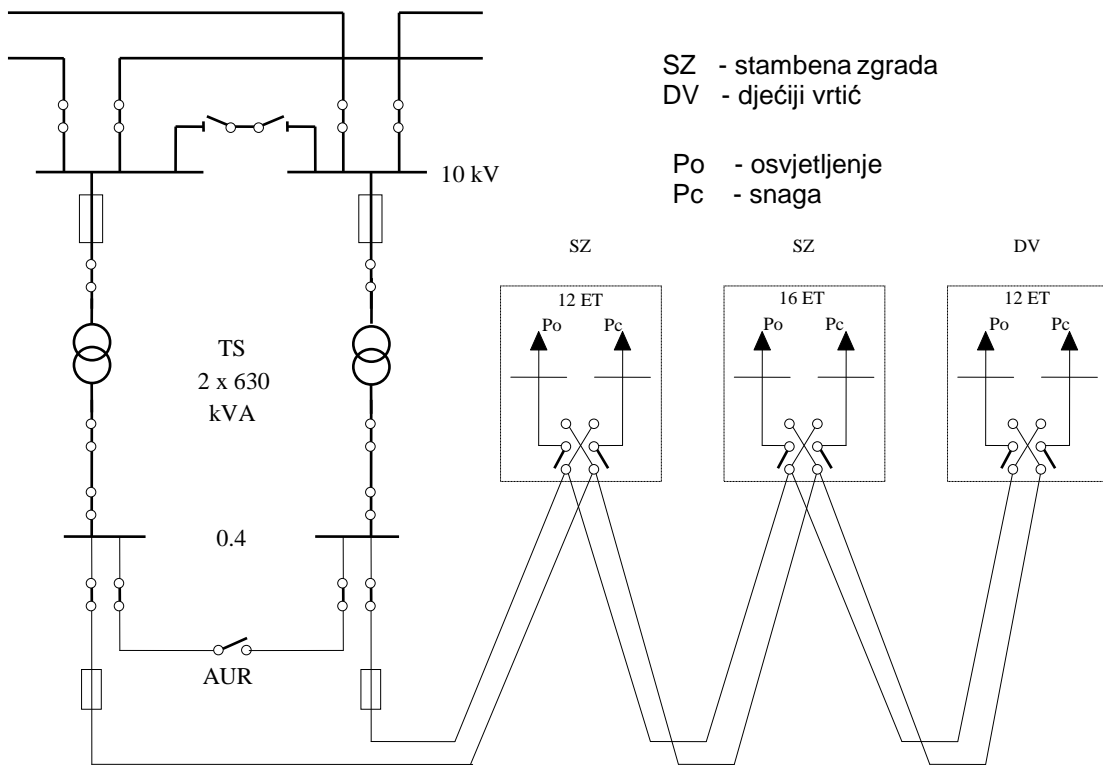
U varijanti 2.a sve TS SN/NN su dvotransformatorske, pri čemu su oba transformatora (TR₁₁ i TR₂₁₁) dimenzionisana na puno opterećenje (ukupno opterećenje TS: O₁+O₂).

U normalnom pogonu TR₁₁ napaja opterećenje O₁ (sekcije NN₁). Oba prekidača sistema AUR su otvorena.

U slučaju kvara na TR₁₁, sistem AUR djeluje otvarajući prekidač P₁ i zatvarajući istovremeno prekidač AUR na sekcijama NN₁. Ovim se napajanje opterećenja O₁ prebacuje na zdravi transformator TR₂₁₁.

Varijanta 2.b radi vrlo slično, s tim što se automatsko prebacivanje na rezervno napajanje ostvaruje preko jedinstvenog sistema AUR (slika III.19.b).

U EDS-ima, odnosno distributivnim mrežama, visoke pouzdanosti konfiguracija sa dvostrukim vodovima se primjenjuje i na SN i na NN. Takvo rješenje npr. imamo u EDS Moskve (slika III.20), za napajanje gradnje visoke preko deset spratova, kao i pojedinih-važnijih objekata (institucija).



Slika III.20. Konfiguracija sa dvostrukim kablovima na SN i na NN

Ovaj sistem, svakako visoke pouzdanosti, je očigledno skuplji već na srednjem naponu od francuske izvedbe sa T spojnicama. U cjelini to je znatno skuplja konfiguracija, mada se u ruskoj literaturi mogu sresti analize koje ukazuju i na njenu ekonomičnost za napajanje potrošača prve kategorije, pri čemu su tu svakako štete usljed prekida u isporuci električne energije vrednovane izvanredno visoko.

Na ovom mjestu korisno je napomenuti da je u ruskoj praksi prisutna detaljna kategorizacija potrošača, konkretno na tri kategorije, prema kojima se u osnovi oblikuju i mreže SN i mreže NN. Tako se sistem sa slike III.20 koristi za napajanje potrošača prve kategorije (najviši stepen pouzdanosti, odnosno "neprekidno napajanje"). S obzirom da ni najpouzdaniji distributivni sistem ne garantuje neprekidno napajanje električnom energijom, u novije vrijeme se i ovdje ide na primjenu autonomne rezerve, npr. tipa dizel-agregata sa snagama i reda snaga TS

SN/NN. Ova praksa može svakako uticati na prestrukturiranje koncepcija distributivnih mreža, naročito mreža NN, koje napajaju potrošače povećanog stepena sigurnosti, konkretno potrošače prve kategorije.

III.4 KONFIGURACIJE DISTRIBUTIVNIH MREŽA NN-a

Kod distributivnih mreža NN najčešća je radijalna konfiguracija sa izvjesnim mogućnostima rezerviranja preko razvodnih ormara. Na NN je moguće i prstenasto napajanje, ali se ne vide neke bitne prednosti, ako se maksimalno koriste kablovi (opšta tendencija na NN je što bolje korišćenje kako TS SN/NN, tako i kablova NN), a potrebno je i povećanje dužine kablova zbog zatvaranja prstenova.

U gradskim EDS sa visokom površinskom gustinom opterećenja i povećanim zahtjevima za kvalitetnom električnom energijom, razvile su se na NN distributivne mreže sa složenopetljastom konfiguracijom (SP NN mreže). Specifičnosti režima rada ovih konfiguracija, zahtijevaju njihovo detaljnije proučavanje, kako bi se ove konfiguracije mogle ravnopravno upoređivati sa ostalim konfiguracijama.

III.4.1. SP NN MREŽE

Distributivne mreže sa složenopetljastom konfiguracijom na niskom naponu (distributivne SP NN mreže) karakteriše razvijena - povezana (složenopetljasta) NN mreža preko koje se ostvaruje rezerva i za elemente mreže srednjeg napona.

Ove mreže predstavljaju spregnuti blok srednji napon - složenopetljasta niskonaponska (SP NN) mreža, a prema engleskoj terminologiji to su mreže srednjeg napona poduprte niskim naponom.

Da bi se izbjegle posljedice neželjenih struja izjednačenja, distributivne SP NN mreže se najčešće vezuju na jedan izvor napajanja, odnosno napajaju iz jedne TS VN/SN (sistem sa autonomnim TS VN/SN).

Konfiguracija SN mreže koja napaja SP NN mrežu praktično ne utiče na pouzdanost napajanja potrošača na NN. Zato se SN mreže najčešće realizuju kao radijalne, pri čemu više SN izvoda u radijalnoj konfiguraciji napaja (preko jednotransformatorskih TS SN/NN) SP NN mrežu. Otuda i potpuni naziv za ove konfiguracije: **višestruko radijalno napajane složenopetljaste mreže**.

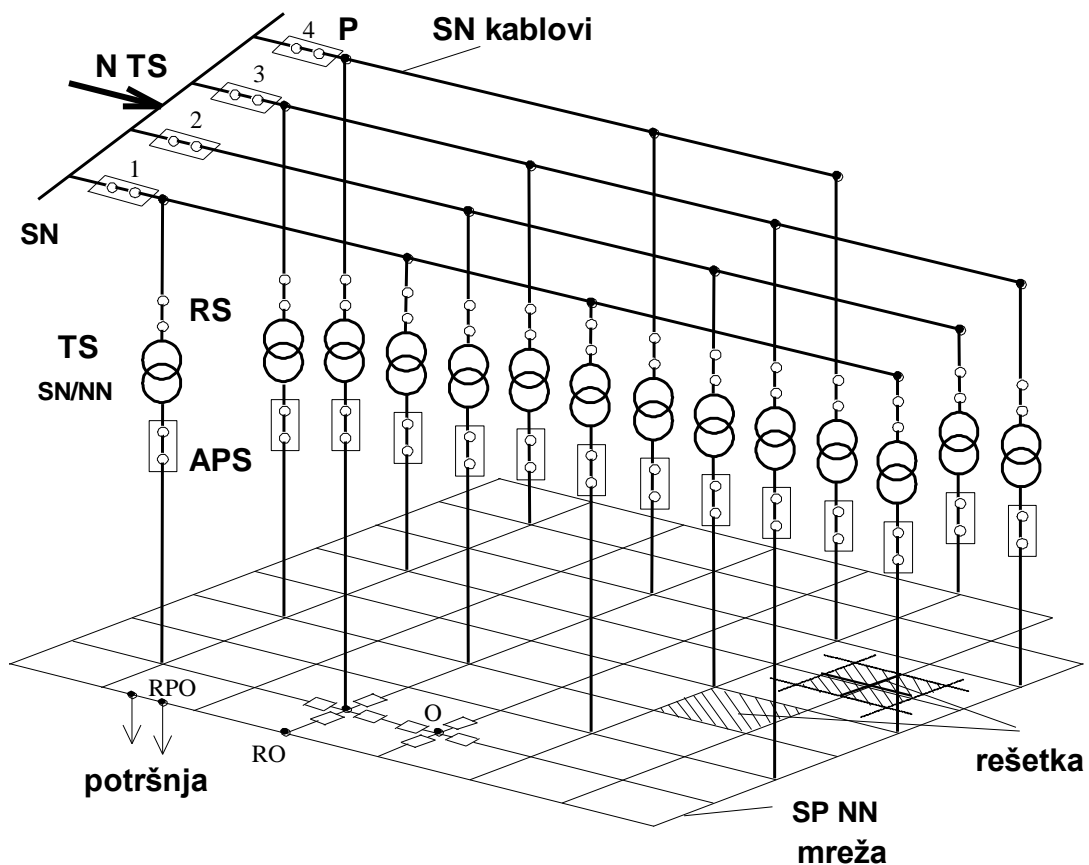
Višestruko radijalno napajane SP NN mreže obezbjeđuju visoku pouzdanost napajanja za sve potrošače priključene na SP NN mrežu, uz niz drugih tehničko-ekonomskih povoljnosti: visok kvalitet napona, manji gubici električne energije, manja osjetljivost na "udare" jačih potrošača, smanjeno specifično opterećenje po potrošaču i sl. Ova pozitivna svojstva, a koja se u manjoj ili većoj mjeri ispoljavaju kod svih varijanti distributivnih mreža sa SP NN konfiguracijom, osnovni su razlozi njihove široke primjene u EDS velikih gradova, gdje uporedo sa visokom gustinom opterećenja imamo i povećane zahtjeve za kvalitetom električne energije.

Višestruko prstenasto napajane složenopetljaste mreže se takođe srijeću u rješeljima distributivnih mreža EDS velikih gradova. Tu se SN mreža realizuje kao prstenasta, a NN mreža je složenopetljaste konfiguracije. Ovom konfiguracijom se dodatno želi obezbijediti odgovarajuća pouzdanost i za eventualno prisutne na SN nivou direktne potrošače, a i za slučaj da se na NN nivou neki potrošači napajaju preko zasebnih radijalnih ogranaka jer tu formiranje petlji nema potrebno opravdanje ili mogućnost.

Šema distributivne SP NN mreže (višestruko radijalno napajana SP NN mreža), prikazana je na slici III.21.

Od SN sabirnica napojne TS VN/SN ("izvor napajanja" - IN) polazi, preko prekidača (P), nekoliko SN izvoda koji, konkretno u radijalnoj konfiguraciji, napajaju jedno-transformatorske TS SN/NN.

Povezivanje TS SN/NN na SN vodove se vrši direktno (preko T- spojnica) sa kablovskim ogrankom manjeg presjeka (francusko rješenje) ili po principu "ulaz-izlaz" sa rastavljačima snage (rastavljačima) uz transformatorske sabirnice SN.



Slika III.21. Distributivna mreža sa SP NN konfiguracijom

Veza od SN sabirnica u TS SN/NN do transformatora se ostvaruje preko rastavljača snage (RS) sa osiguračima, odnosno preko prekidača, ili direktno bez elemenata zaštite (što omogućava specifičan režim rada SP NN mreže i sistem

zaštite na NN strani TR) sa (radi mogućnosti sekcionisanja TR SN/NN) ili bez rastavljača snage ili ređe rastavljača na SN strani transformatora.

Na SP NN mrežu transformatori su priključeni preko automata povratne snage (APS -automatski NN prekidači sa releima povratne snage). Njihovim djelovanjem se sprečava napajanje mjesta kvara na SN kablju ili u TS SN/NN preko SP NN mreže, i poslije isključenja prekidača P.

Svi transformatori su na NN strani preko SP NN mreže međusobno povezani u paralelan rad.

NN kablovi se preko NN osigurača (O), ili direktno, međusobno povezuju (učvoroju) u specijalnim razvodnim ormarima (RO) ili neposredno na NN razvodima TS SN/NN, formirajući tako zatvorenu NN mrežu složene konfiguracije.

RO i NN sabirnice TS SN/NN čine NN čvorove.

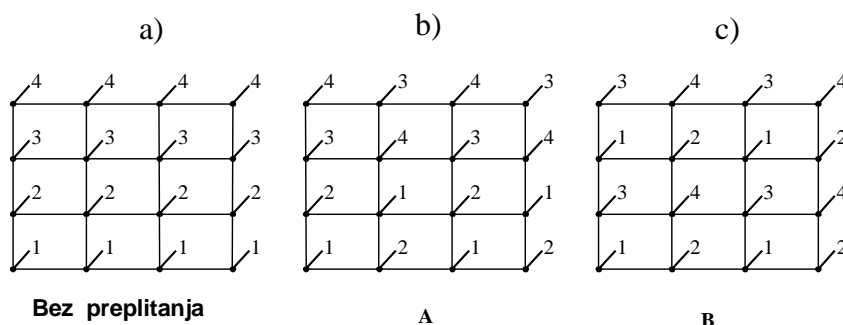
Pored ovih čvorova (pasivni čvorovi ako predstavljaju RO i aktivni čvorovi ako predstavljaju priključke TS SN/NN), pojavljuje se u NN mreži i veliki broj potrošačkih čvorova. To su niskonaponski RO od kojih polaze vodovi potrošačkih mreža, odnosno na koje se posredno priključuju objekti potrošnje (RPO).

Veličina SP NN mreže, prvenstveno zbog zahtjeva za preglednim pogonom i teškoća pri ponovnom uspostavljanju normalnog pogona pri ispadu cjelokupne mreže, najčešće je do 15 MW.

Broj SN izvoda koji preko jednotransformatorskih TS SN/NN napajaju SP NN mrežu, najčešće je od 4 do 6.

Na iskorišćenje elemenata distributivnih SP NN mreža, značajno utiče i oblik povezivanja TR SN/NN na SN vodove, odnosno **način "preplitanja" SN mreže**.

U varijantama sa "preplitanjem", izbjegava se povezivanje susjednih TR SN/NN na isti SN izvod. To zahtijeva dužu SN mrežu, ali se time dobija na iskorišćenju elemenata cjelokupne mreže. Mogući su različiti načini "preplitanja", ali u razmatranje treba uzeti samo one koji su prihvatljivi i za praktične realizacije, npr. varijanta A i varijanta B na slici III.22.



Slika III.22. Varijante "preplitanja" SN kablova u SP NN mrežama

Povećanje dužine SN mreže zbog preplitanja, u odnosu na varijantu bez preplitanja	
Varijanta A: 1.54	Varijanta B: 1.45

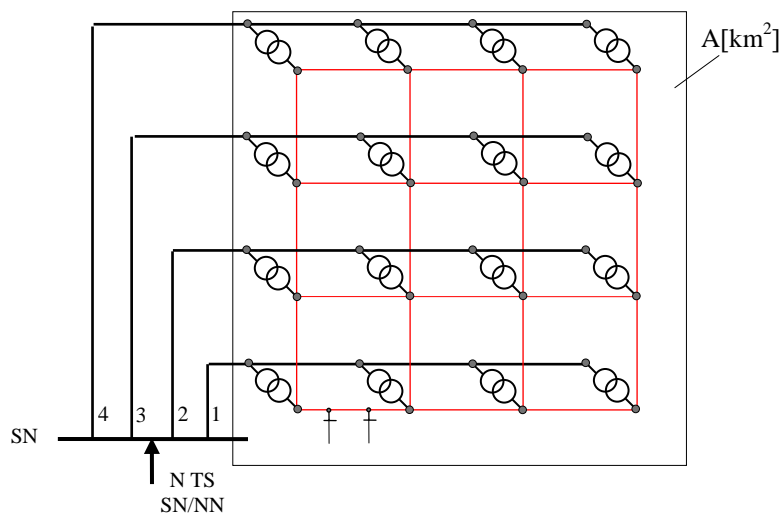
Faktor rezerve i faktor iskorišćenja za SP NN mreže

U varijanti bez "preplitanja" (slika III.22a) šteti se na kablovima SN, ali se naročito kod ispada krajnjih kablova bloka (SN kablovi 1 i 4 na slici III.22.a) jače dodatno opterećuju pojedini (susjedni) SN kablovi, TR SN/NN kao i NN kablovi, pa njihovo opterećenje u normalnom radu mora da bude dosta slabije. Zato je ovdje iskorišćenje mreže znatno ispod teorijskog. Ono se praktično npr. za SN kablove približava vrijednosti iz prstenaste konfiguracije.

Kod varijanti sa "preplitanjem" faktori iskorišćenja elemenata se približavaju teorijskim vrijednostima, ali se povećava dužina SN kablova (slika III.22), u nekim varijantama skoro dvostruko.

Izračunavanje teorijske vrijednosti faktora iskorišćenja (rezerve) za distributivne mreže sa SP NN konfiguracijom ilustrovaćemo kroz naredni primjer.

Primjer Treba izračunati faktore rezerve i faktore iskorišćenje (teorijske vrijednosti) SN kablova i TR SN/NN u distributivnoj SP NN mreži prikazanoj na slici III.23.



Slika III.23.

Opterećenje ($O \equiv P$ [MW]) konzuma površine A [km²] napaja se preko SP NN mreže povezane na $n_{SN}=4$ kablovska izvoda SN u radijalnoj konfiguraciji. Svaki SN kabl napaja po $n_{TR-SN}=4$ TR SN/NN, te je ukupan broj TR SN/NN koji napajaju SP NN mrežu $n_{TR}=16$.

U normalnom režimu opterećenje jednog SN izvoda, uz pretpostavku ravnomjerne raspodjele opterećenja po elementima mreže, odnosno ravnomjerne površinske gustine opterećenja, je:

$$O_{SN} = \frac{O}{n_{SN}} = \frac{O}{4},$$

a opterećenje jednog TR SN/NN je:

$$O_{TR} = \frac{O}{n_{TR}} = \frac{O}{16}.$$

Svi elementi mreže su dimenzionisani prema najkritičnijem posthavarijskom režimu, a to je za posmatranu konfiguraciju ispad jednog (krajnjeg) SN izvoda.

U slučaju npr. kvara na glavnoj napojnoj dionici kabla SN1, automatski isključuje prekidač ovog izvoda na izlazu iz napojne TS VN/SN kao i APS u svim TR SN/NN koji se napajaju preko izvoda SN1. Napajanje svih potrošača se nastavlja bez prekida preko SP NN mreže, koja je sada povezana na $n_{SNr} = n_{SN} - 1 = 3$ kablovska SN izvoda, odnosno na $n_{TRr} = n_{TR} - n_{TR-SN} = n_{TR} - 4 = 12$ TR SN/NN.

U ovom posthavarijskom (rezervnom) režimu opterećenje elemenata je:

$$O_{SNr} = \frac{O}{n_{SN} - 1} = \frac{O}{3},$$

$$O_{TRr} = \frac{O}{n_{TR} - 4} = \frac{O}{12}.$$

Faktori rezerve (odnos opterećenja u normalnom i opterećenja u rezervnom režimu) su:

$$r_{SN} = \frac{O_{SN}}{O_{SNr}} = \frac{n_{SN}}{n_{SN} - 1} = \frac{4}{3} = 1.33,$$

$$r_{TR} = \frac{O_{TR}}{O_{TRr}} = \frac{n_{TR}}{n_{TR} - 4} = \frac{16}{12} = 1.33.$$

Uz dozvoljeno privremeno preopterećenje npr. od 20% i kod SN kablova i kod TR ($\pi_{SN} = \pi_{TR} = 1.2$), za faktore iskorišćenje SN kablova i TR SN/NN u razmatranoj konfiguraciji dobija se vrijednost (teorijska vrijednost):

$$i_{SN} = i_{TR} = 0.9.$$

Stvarne vrijednosti faktora iskorišćenja su niže, u razmatranoj varijanti značajnije niže, od dobijene vrijednosti, a i različite su za SN kablove i za TR SN/NN.

Veće vrijednosti faktor rezerve (niže iskorišćenje) od teorije vrijednosti uzrokovane su činjenicom da se u slučaju ispada npr. kabla SN1 njegovo opterećenje ne raspodjeljuje ravnomjerno na ostala tri ispravna SN kablova, već najveći dio opterećenja preuzima susjedni kabl, konkretno kabl SN2. Isto tako najveći dio opterećenja ispalih TR SN/NN, konkretno su to svi TR SN/NN koji su povezani na kabl SN1, preuzimaju TR SN/NN povezani na kabl SN2. Najmanji dio opterećenja prenosi se na kabl SN4, odnosno na njegove transformatore.

Određivanje faktora rezerve, odnosno faktore iskorišćenja elemenata u distributivnim mrežama sa SP NN konfiguracijom treba vršiti na osnovu proračuna stacionarnih režima, odnosno stvarnih opterećenja elemenata u normalnom režimu i u kritičnim posthavarijskim režimima.

Ako se polazi od teorijskih vrijednosti koje se određuju po postupku prikazanom u prethodnom primjeru, njih treba korigovati množenjem sa odgovarajućim koeficijentima: korekcionni koeficijent faktora rezerve - k_r i korekcionni koeficijent faktora iskorišćenja - k_i .

Za faktor rezerve SN kablova vrijednost korekcionnog koeficijenta leži u intervalu:

$$k_{rSN}=1.05 - 1.20 ,$$

a za TR SN/NN:

$$k_{rTR}=1.1 - 1.25.$$

Niže vrijednosti se odnose na varijante mreža sa "preplitanjem" SN izvoda, npr. varijanta "preplitanja" B sa slike III.22, dok gornje granice intervala odgovaraju varijantama bez "preplitanja", kakva je i mreža razmatrana u Primjeru (slika III.23).

Broj "rešetki" po jednom TR SN/NN, odnosno **snaga TR SN/NN** je promjenljivi parametar sa najizraženijim uticajem na tehničko-ekonomske karakteristike cjelokupne mreže. Izbor ovog parametra mora biti rezultat kompleksne tehničko-ekonomske analize. U realnim mrežama broj "rešetki" po jednom TR SN/NN se kreće od 1 do 3,5.

Jačim učvorenjem NN mreže, što znači veći broj čvornih tačaka i veći broj u njima povezanih kablova, povećava se pouzdanost napajanja distributivnih SP NN mreža. Povezivanjem većeg broja kablova olakšavaju se uslovi za selektivan rad zaštite u mrežama šticešim na NN strani osiguračima.

Broj NN izvoda kod distributivnih SP NN mreža u eksploataciji, kreće se najčešće od 4 do 8.

Pri određivanju ovog parametra treba se osvrnuti na njegovu izvjesnu determinisanost, a koja proističe iz uticaja saobraćajne mreže, opredeljenja za standardizacijom presjeka NN kablova u distributivnim mrežama, zahtjeva rezerviranja, potreba obezbjeđenja uslova za selektivno djelovanje zaštite i sl. Tako se u modelskim istraživanjima obično računa sa dvije vrijednosti za broj izvoda iz TR SN/NN: 4 NN kabla -kablovi položeni samo sa jedne strane ulica i 8 NN kablova - kablovi položeni s obje strane ulica.

Višestruko napajane SP NN mreže imaju veoma visoku **pouzdanost**. Koncipirane po principu "n-1", ostvaruju neprekidno napajanje za slučaj jednostrukog kvara na SN nivou. Kod TR SN/NN neprekidno napajanje je obezbijeđeno za slučaj ispada svih TR jednog SN kabla. U određenim rješenjima, kakvo je sistem zaštite sa

samopregorjevanjem NN kablova, ne "osjećaju" se ni prekidi na NN kablovskim dionicama, sem za direktno pogođenje potrošače.

Princip "n-1", čija suština je osiguranje rezerve za slučaj jednostrukog kvara na jednom tehničkom modulu jednog naponskog nivoa, u razmatranim konfiguracijama ima izvjesne specifičnosti. Tako, u suštini ovdje se ne osigurava rezerva za slučaj simultanog kvara na jednom SN kablju i nekom od TR SN/NN ostalih SN kablova. I pored toga, parametri nekih od ovakvih posthavarijskih režima naći će se u dozvoljenim granicama. Kritične su koincidencije ispada jednog SN kabla i nekog od susjednih TR SN/NN u vršnom režimu mreže.

Izbor, odnosno provjera **parametara elemenata** distributivnih SP NN mreža vrši se prema najkritičnijem posthavarijskom režimu.

Najkritičniji posthavarijski režim je, jedinstveno za sve elemente mreže, ispad jednog ("najkritičnijeg") SN kabla.

Kod mreža sa "neprepletenim" SN izvodima, u slučaju ispada krajnjih SN kablova imamo jače opterećenje pojedinih (susjednih) SN izvoda, TR SN/NN, kao i NN vodova. Stoga su ovdje upravo to najkritičniji posthavarijski režimi.

Razlika u preopterećenju pojedinih TR SN/NN pri ispadu SN kablova (znatno veće opterećenje susjednih TR SN/NN od onih koji su udaljeniji od TR SN/NN koji su se napajali preko SN izvoda u kvaru) se teorijski gubi, manje ili više, u svim varijantama sa "preplitanjem".

U realnosti, gdje i u normalnom režimu često imamo neravnomjernu raspodjelu opterećenja, pravovremeno i smišljeno vođenje SN kablova prema konkretnim uslovima opterećenja konzuma i rasporeda TS SN/NN može značajno poboljšati iskorišćenje elemenata mreže.

Pored opisanih tipičnih rješenja distributivnih SP NN mreža, a to su prije svega višestruko radijalno napajane SP NN mreže, ove konfiguracije se realizuju i u drugim varijantama: višestruko prstenasto napajana SP NN mreža (*slika.III.24.c*), jednostruko prstenasto napajana SP NN mreža (*slika.III.24.b*), prstenasto u tački napajana SP NN mreža (*slika.III.24.a*), višestruko dvostrano (povezanim vodovima) napajana SP NN mreža (*slika.III.25*) i sl.

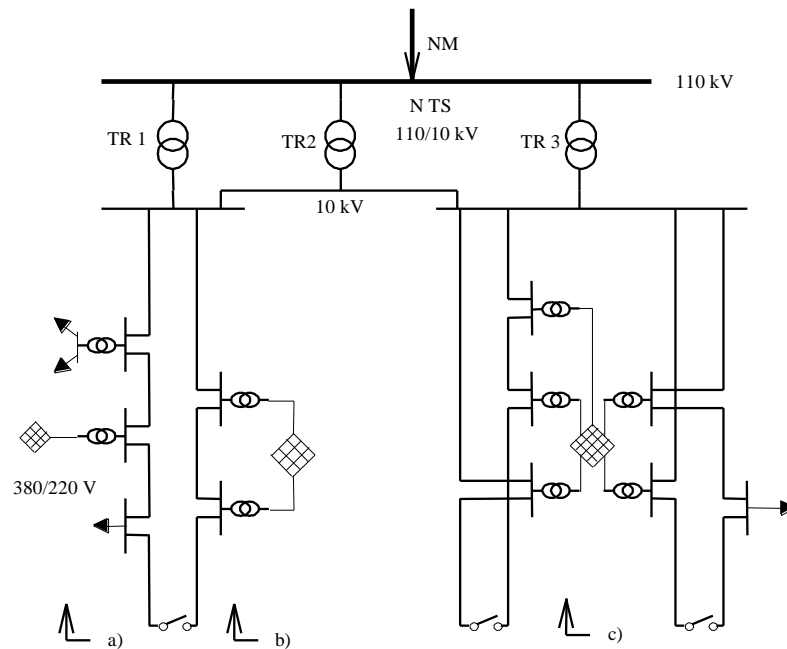
Kod **jednostruko prstenasto napajane SP NN mreže** (*slika.III.24.b*), SP NN mreža se napaja sa više TR SN/NN povezanih na jednu polupetlju SN prstena. Kvar na kablju SN dovodi do ispada cijele povezane SP NN mreže. Trajanje ispada je jednako vremenu neophodnom za prebacivanje bloka na rezervnu polupetlju SN prstena. Kvar na TR SN/NN, ovdje, kao i u slučaju višestruko napajanih SP NN mreža, ne izaziva prekid u napajanju, ali se preostali transformatori jače opterećuju. Sama SP NN mreža ima iste prednosti kao pri višestrukome napajanju. I ovdje su potrebni NN prekidači sa releima povratne snage, za slučaj kvarova na SN nivou i kod TS SN/NN, kao i signalizacija ispada TS SN/NN.

U konfiguraciji **prstenasto u tački napajane SP NN mreže** (*slika III.24.a*), SP NN mreža se napaja iz jedne TS SN/NN. Ovdje kvar u TS SN/NN izaziva isključenje

cjele SP NN mreže sve do opravke kvara. Prvenstveno zbog niske pouzdanosti, ovaj sistem se rijetko primjenjuje.

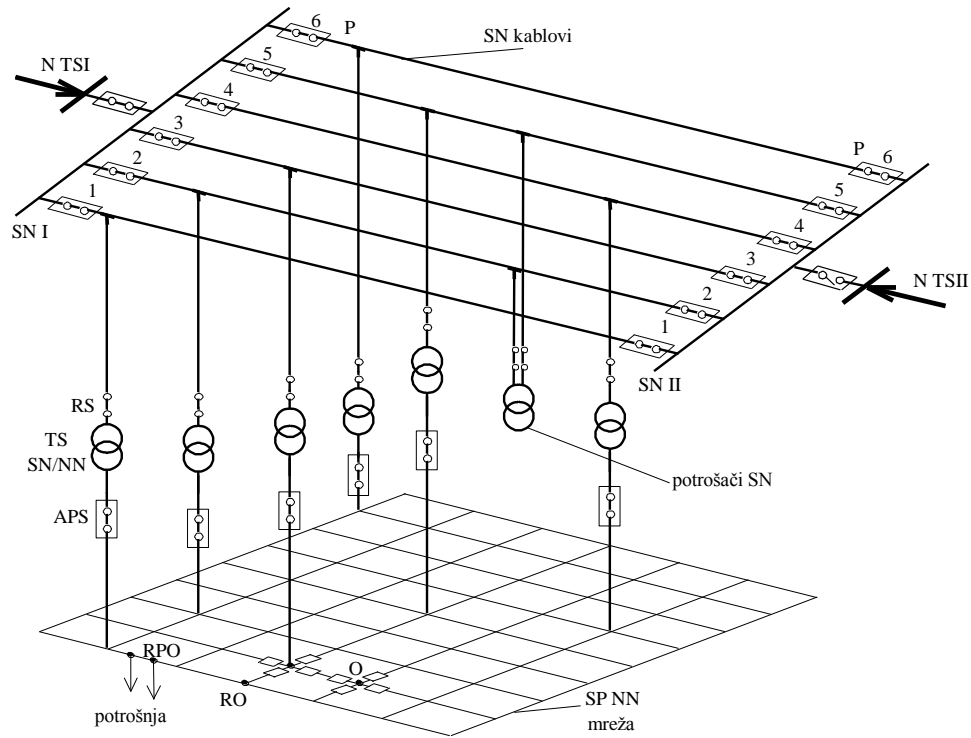
Na slici III.25 je dat prikaz distributivne SP NN mreže koja je realizovana u okviru u EDS Pariza.

SP NN mreža se napaja preko više (konkretno šest) povezanih SN vodova (20 kV Al kablovi 150 mm² po fazi), koji preko zajedničkih prekidača (prekidač arterije) polaze iz dvije napojne TS, konkretno N TS_A i N TS_B sa po jednim TR 225/20 kV snage 100 MVA. Napojne TS su korespodente tipa PNG, napajane jednim radijalnim napojnim kablom 220 kV (Cu 800 mm² po fazi, nosivosti 300 MVA).



Slika III.24

Cjelokupni EDS sistem je u osnovi koncipiran po principu dvostrukog kvara (princip pouzdanosti "n-2"), što znači da mogu istovremeno da ispadnu ne samo dvije susjedne N TS 225/20 kV, nego i dva susjedna kabla 220 kV (najteži kvar). Na nivou distributivne mreže (višestruko dvostrano napajana SP NN mreža), obezbijeđeno je neprekidno napajanje za slučaj jednovremenog ispada dva od šest kablova arterije.



Slika III.25

Zaštita u SP NN mrežama

Specifičnost zaštite u distributivnim SP NN mrežama proističe iz specifičnosti režima kratkih spojeva u ovim mrežama. Ovdje režime kratkih spojeva u odnosu na normalni režim karakteriše, ne samo promjena (porast) vrijednosti struje već i promjena smjera struje kroz elemente mreže.

Strujni tokovi u nekim režimima kratkog spoja, karakterističnim po mjestu nastanka kvara, prikazani su na slici III.26.

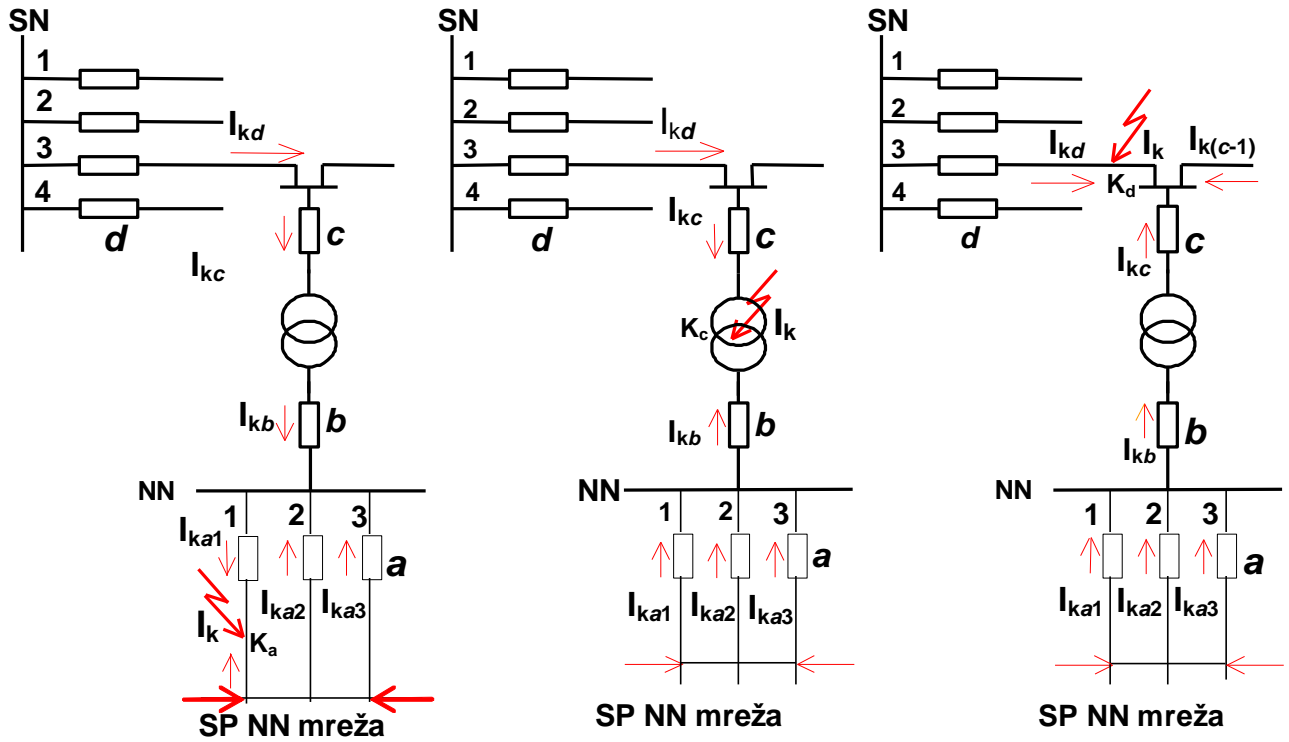
Na slici III.26 su svi elementi zaštite prikazani istim simbolom, uz različito označavanje koje specificira:

- a** - zaštita na NN izvodima iz TR SN/NN ili iz čvornih RO,
- b** - zaštita na NN strani TR SN/NN,
- c** - zaštita na SN strani TR SN/NN i
- d** - zaštita na SN izvodima iz TS VN/SN.

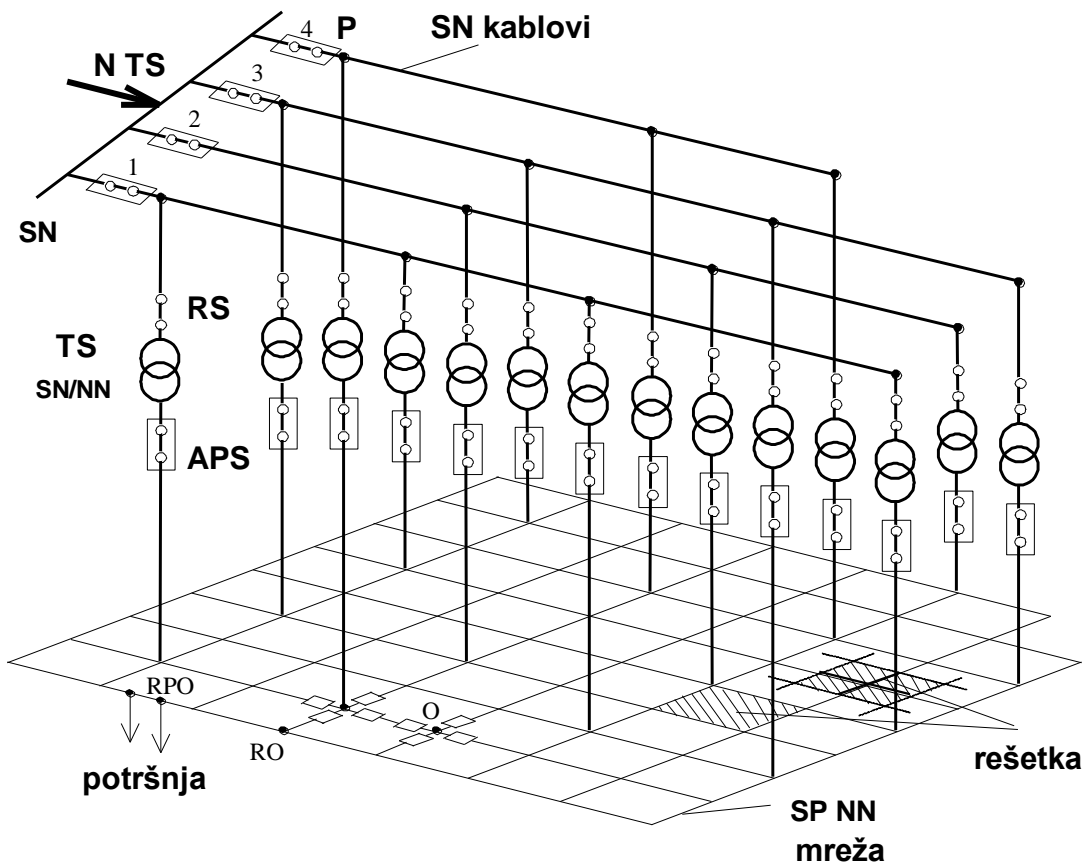
1. Pri kratkom spoju u NN mreži, tačka Ka na slici III.26a :

Mjesto kratkog spoja napaja se s obje strane, preko NN dionice u kvaru. Smjerovi struja kroz SN dionice i TR SN/NN isti su kao u normalnom režimu. U NN mreži kroz pojedine djelove dionice dolazi do promjene smjera struja (konkretno kroz dionice sa elementima zaštite **a2** i **a3**), što ne treba da utiče na formiranje zaštite jer su takve promjene smjerova struja moguće i u normalnim, a još prije u posthavarijskim režimima.

Za lokalizaciju kvara, u ovom slučaju neophodno je djelovanje (prekostrujno) elemenata zaštite a na oba kraja NN dionice u kvaru.



Slika III.26. Stujni tokovi u režimima kratkog spoja kod SP NN mreža



2. Pri kratkom spoju na nekom od TR SN/NN, tačka Kb na slici III.26b,:

Mjesto kratkog spoja napaja se preko SN izvoda na koji je povezan TR SN/NN i iz SP NN mreže preko NN izvoda (promijenjen smjer struje) TR SN/NN u kvaru. Ovdje je karakteristična promjena smjera struje kroz element zaštite **b** ugrađen na NN strani TR SN/NN u kvaru.

Za lokalizaciju kvara potrebno je djelovanje (na promjenu smjera struje) elementa zaštite *b* kod TR SN/NN u kvaru. Takođe je potrebno djelovanje (prekostrujno) zaštite na SN strani TR SN/NN u kvaru (element zaštite *c*). Ako je mreža formirana bez elemenata zaštite na SN strani TS SN/NN (bez elemenata zaštite *c*), za lokalizaciju ove vrste kvara nophodno je djelovanje zaštite (prekostrujno) na SN izvodu koji napaja TR SN/NN u kvaru (konkretno element zaštite *d* na SN izvodu 3), a takođe i elemenata zaštite *b* na svim TR SN/NN koji se napajaju preko ovog SN izvoda.

3. Pri kratkom spoju u SN mreži, npr. na napojnoj dionici izvoda SN3, tačka Kd na slici III.26c,:

Karakteristične su promjene smjera struja, u odnosu na normalni režim, kroz TR SN/NN prikazan na slici (komponenta struje kvara **Ik(c)**) i kroz sve ostale TR SN/NN koji se napajaju preko SN izvoda u kvaru (komponenta struje kvara **Ik(c-1)**).

Lokalizacija kvara se ostvaruje djelovanjem (prekostrujno) elemenata zaštite *d* SN izvoda u kvaru i djelovanjem (na promjenu smjera struje) elemenata zaštite *b* svih TR SN/NN koji su povezani na SN izvod u kvaru.

U razmatranim mrežama veličine i smjerovi struja KS su različiti, zavisno od mjesta i vrste kvara. Sistem zaštite treba da obezbijedi selektivno isključenje za sve moguće slučajeve KS, u idealnom rješenju bez narušavanja kontinuiteta napajanja potrošača električnom energijom.

Posebno složene uslove za selektivan rad zaštite imamo kod SP NN mreža koje se napajaju preko nekoliko RP istog "izvora napajanja", kao i kod višestrano (dvostrano - iz dva nezavisna "izvora napajanja") napajanih SP NN mreža.

Osnovna specifičnost sistema zaštite distributivnih SP NN mreža su elementi zaštite na NN strani TR SN/NN (elementi zaštite **b** prema slici III.26). Za njih je karakteristična promjena smjera struje, odnosno povratni tok snage, u slučaju KS na SN nivou, a takođe i u slučaju KS negdje na NN strani od TR SN/NN do samog elementa. Zato je **rele povratne snage** obavezni dio sklopa NN prekidača kod TR SN/NN u distributivnim SP NN mrežama. Naziv ovih NN prekidača (elementi zaštite **b** prema slici III.26) je: **automat povratne snage (APS)**.

Elementi zaštite na SN nivou su uobičajene izvedbe i djelovanje za slučajeve KS i preopterećenja:

- elementi zaštite **d** prema slici III.26 - SN prekidač,
- elementi zaštite **c** prema slici III.26c - SN prekidač, češće rastavljač snage (eventualno rastavljač) sa osiguračem.

U distributivnim SP NN mrežama, čiji elementi zadovoljavaju uslove najkritičnijeg posthvarijskog režima – ispad SN izvoda i svih njegovih TR SN/NN, može se odustati od zaštite na SN strani u TS SN/NN (elementi zaštite **c** prema slici III.26). Tada, u slučaju KS kod TR SN/NN djeluje direktno prekidač SN izvoda (element zaštite **d** prema slici III.26) koji napaja TR SN/NN u kvaru, čime SN izvodi sa svojim TR SN/NN funkcionišu kao jedna cjelina. Zaštita TR SN/NN od preopterećenja ostvaruje se preko elemenata zaštite na NN strani transformatora. Ovakvo rješenje, svakako ekonomski povoljnije, susrećemo npr. u distributivnoj mreži Kopenhagena.

U distributivnim SP NN mrežama u primjeni su dva osnovna sistema zaštite, koji se razlikuju po zaštite u samoj SP NN mreži (elementi zaštite **a** prema slici III.26).

Kod **prvog sistema zaštite**, koji se i vremenski gledano prvi pojavio u SP NN mrežama gradova SAD, gdje su NN mreže napona 208/120 V, sa jednožilnim kablovima i direktno uzemljene, **na NN kablovskim dionicama se ne postavlja nikakva zaštita.**

Za otklanjanje kvara na NN kablovima koristi se princip samopregorijevanja kablova na mjestu kvara, gdje otpor izolacije kabela ostaje u granicama koje omogućavaju dalji normalan pogon. Prekida napajanja potrošača nema, sem za direktno pogođene potrošače (potrošači neposredno priključeni na mjesto kvara, odnosno na pregoreli dio kabela). Pojavljuje se samo kratkotrajno sniženje napona uslovljeno pregorijevanjem kabela na mjestu kvara.

Sa povećanjem površinske gustine opterećenja, odnosno snaga i broja TR SN/NN, u SP NN mrežama rastu snage KS. Visoke struje KS mogu prouzrokovati oštećenja većeg dijela kabela, prije nego što se kvar učini bezopasnim. Takođe su mogući i slučajevi kad su struje kvara nedovoljne za pregorjevanje kabela.

Da bi se pri težim kvarovima spriječila veća oštećenja kablova, a takođe i da bi se izbjegli rijetki slučajevi kod kojih kvar ne uspijeva da se otkloni u jednom razumnom vremenu, na NN dionicama se ugrađuju zaštitni uređaji proste konstrukcije tzv. **limiteri** (ograničivač - metalni, obično bakarni, dio manje površine poprečnog presjeka od štice kabela). Limiteri su prvi put primjenjeni u mreži Njujorka, 1936 godine. Oni u suštini predstavljaju najprostiji oblik topljivih osigurača. Postavljaju se na oba kraja NN kablovskih dionica, dakle na NN izvodima iz TS SN/NN i u RO.

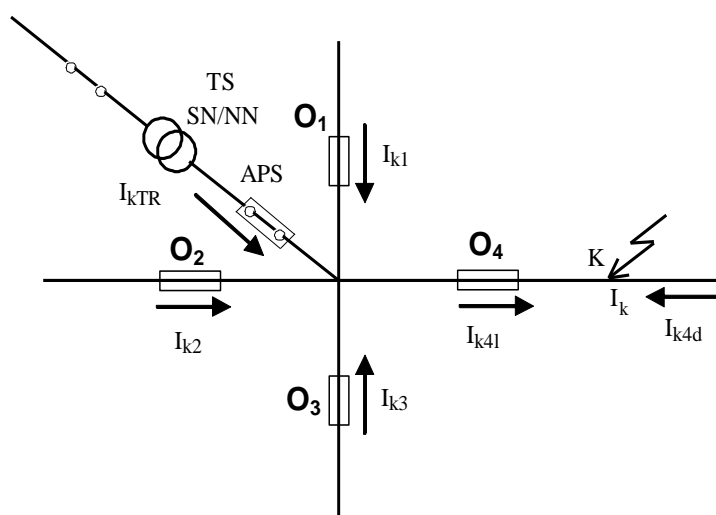
U mrežama sa limiterima zaštita se i dalje temelji na samopregorijevanju kablova na mjestu kvara. U "normalnim" uslovima kabl na mjestu KS prepri za relativno kratko vrijeme, a izolacija i dalje pruža potrebne uslove za normalno napajanje, uz otvoren pogon NN dionice u kvaru. U uslovima teškog i produženog pregorijevanja kabela na mjestu kvara, može doći do oštećenja izolacije kabela na većoj dužini. Takođe se mogu razviti veoma visoke temperature u susjednim - povezanim NN kablovskim dionicama i na njima prouzrokovati oštećenja izolacije, odnosno dalja proširenja kvara. U ovakvim slučajevima neophodno je da djeluju limiteri, izolujući dionicu u kvaru prije nego što dođe do oštećenja većeg dijela kabela, odnosno prije nego što temperatura kablovskih dionica koje učestvuju u napajanju mjesta kvara dostignu vrijednost opasnu po izolaciju.

Sistem zaštite sa samopregorijevanjem obezbjeđuje veoma visoku pouzdanost, praktično neprekidno napajanje potrošača, što je, pored jednostavnosti i ekonomičnosti, osnovna njegova prednost. Nedostaci su: teškoće u otkrivanju mjesta kvara, mogućnost proširenja oštećenja na veći dio kabla i na susjedne kablove, nepouzdanost djelovanja u mrežama sa višim niskim naponom (380/220 V), nepostojanje za NN kablove zaštite od preopterećenja i sl.

Korišćenje pojave samopregorijevanja kablova u SP NN mrežama napona 380 V i sa četvorožilnim kablovima, ne obezbjeđuje adekvatnu zaštitu. Mada se sistem zaštite sa samopregorijevanjem kablova pominje i u Evropi, u SP NN mrežama EDS evropskih gradova praktično se odmah otpočelo sa primjenom osigurača za zaštitu u NN mreži.

U **sistemu zaštite sa NN osiguračima** (drugi sistem zaštite), osigurači se ugrađuju na krajevima NN kablovskih dionica, tj. na svim izvodima iz TS SN/NN i kod RO. Njihov zadatak je, selektivna zaštita elemenata NN mreže u svim mogućim režimima KS i definisanim, sa aspekta vrijednosti dozvoljenih struja preopterećenja kablova, režimima preopterećenja.

Kod mreža sa jedinstvenim presjekom NN kablova, svi osigurači su istih karakteristika. Raspodjela struja pri KS u NN mreži (slika III.27) je uvijek takva da se najveća struja pojavljuje upravo na osiguraču koji štiti dionicu u kvaru (struja I_{kd} na slici III.27). Po dionicama koje su povezane sa kablom u kvaru protiču parcijalne (manje) struje kvara (struje I_{k1} , I_{k2} i I_{k3} sa slici III.27).



Slika III.27

Da bi se osigurala selektivnost djelovanja zaštite u NN mreži, odnos najveće parcijalne struje i struje kroz osigurač kabla u kvaru u svim režimima KS mora da bude u skladu sa karakteristikama primjenjenih osigurača.

Primjena NN osigurača u sistemu zaštite distributivnih SP NN mreža znači nešto nižu pouzdanost. U slučaju kvara u NN mreži prekida se, do opravke kvara, napajanje potrošača priključenih na NN dionicu u kvaru. Kod razvijenih SP NN mreža NN kablovske dionice su sasvim kratke, te je broj "pogođenih kvarom" potrošača relativno mali. S druge strane, kvarovi na NN kablovima su vrlo rijetki, a

vrijeme otklanjanja kvara na kratkim dionicama i uz efikasnu službu može se svesti na trajanje od svega par sati. Iz svega ovoga proizilazi visoka pouzdanost napajanja potrošača priključenih na SP NN mreže štíčene osiguračima.

Kako se pri ispadima na SN nivou i kod TR SN/NN napajanje potrošača ne prekida, u sklopu sistema zaštite distributivnih mreža sa SP NN konfiguracijom, neophodna je signalizacija kvara kako bi se blagovremeno prišlo njegovom otklanjanju.

Najveće probleme u SP NN konfiguracijama imamo pri ispadu "izvora napajanja". Tada svi potrošači ostaju bez napona ako se napajanje vrši iz jedne tačke, a što je najčešći slučaj jer se žele izbjeći pojave struja izjednačenja.

Bez obzira što su slučajevi ispada "izvora napajanja" sasvim rijetki, a i kad do njih eventualno dođe sasvim su kratkog trajanja, zbog problema ponovnog uspostavljanja pogona čitave distributivne mreže ne ide se na velika povezivanja na NN nivou.

Tako se u ruskoj literaturi ističe da je povezivanje kroz SP NN mrežu više od 20 transformatora SN/NN nepovoljno.

I u mrežama gradova drugih zemalja, uključujući i SAD gdje se u prvi mah išlo na veoma velike cjeline (u mreži Njujorka snaga bloka srednji napon - niski napon iznosila je 100 MW), ograničavaju se snage povezane SP NN mreže na reda 15 MW.